

LUANA SALETE CELANTE

**TAXAS DE PERDAS DE SOLO E ÁGUA EM UM LATOSSOLO
ARGILOSO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO**

CASCVEL
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO – 2017

LUANA SALETE CELANTE

**TAXAS DE PERDAS DE SOLO E ÁGUA EM UM LATOSSOLO
ARGILOSO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia de Energia na Agricultura da Universidade Estadual do Oeste do Paraná para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura.

Orientador: Prof. Dr. Deonir Secco

Coorientador: Prof. Dr. Flávio Gurgacz

Coorientadora: Prof^a. Dra. Araceli Ciotti de Marins

CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO– 2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Ficha catalográfica elaborada por Rosângela A. A. Silva – CRB 9ª/1810

C386t Celante, Luana Salete
Taxas de perdas de solo e água em um Latossolo argiloso sob sistema plantio direto. / Luana Salete Celante. — Cascavel – PR: UNIOESTE, 2017. — 64f.:il.

Orientador: Prof. Dr. Deonir Secco
Coorientador: Prof. Dr. Flávio Gurgacz
Coorientadora: Profª. Dra. Araceli Ciotti de Marins

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, 2017
Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia de Energia na Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.
Bibliografia.

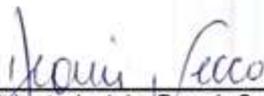
1. Soja - Rendimento. 2. Solos - Erosão. 3. Solos - Manejo. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

CDD 20.ed. 631.45

LUANA SALETE CELANTE

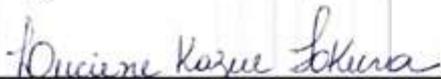
Taxas de Perdas de Solo e Água em um Latossolo Argiloso Sob Sistema Plantio Direto

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestra em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Biomassa e Culturas Energéticas, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



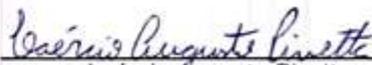
Orientador(a) - Deonir Secco

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Luciene Kazue Tokura

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Laércio Augusto Pivetta

Universidade Federal do Paraná - Campus de Palotina (UFPR)

Cascavel, 23 de fevereiro de 2017

“Dedico este trabalho a toda minha família, aos meus pais Assunta e Idinilson e minha irmã Amanda, fonte de amor, dedicação, apoio e compreensão em toda a minha vida”.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por se fazer presente em todos os momentos da minha vida e pelas oportunidades colocadas no meu caminho;

A minha família, meus pais Idinilson e Assunta Celante, por todo amor, paciência, por estarem sempre ao meu lado apoiando e incentivando principalmente nos momentos mais difíceis, a minha irmã Amanda e meu cunhado Leonardo pelo carinho e motivação;

Ao Prof.^o Dr.^o Deonir Secco, pela orientação, pela oportunidade, ensinamentos e conselhos que foram fundamentais para realização desta pesquisa;

A Prof.^a Dr.^a Araceli Ciotti de Marins pela dedicação e paciência;

Ao Prof.^o Dr.^o Flávio Gurgacz pela atenção e disponibilidade.

A Prof.^a Luciene Kazue Tokura e a Prof.^a Daniela Nava pelas orientações e auxílio nas realizações das análises;

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura pela sabedoria e ensinamentos transmitidos;

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, e à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, pela oportunidade e formação;

Ao Sr. Helmut Bleil Junior pela disponibilização da área de estudo e a família do Sr. Dirceu Kehrwald e Sra. Ana Lúcia Kehrwald por todo o auxílio e compreensão;

Às “Gurias do solo”, Manu, Natália e Natasha, pelo auxílio e amizade em todas as etapas desse trabalho;

À Fundação Araucária, pela concessão da bolsa de estudos;

Ao Simepar, pelos dados de pluviosidade e frequência;

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Proporções relativas das frações areia, silte e argila da área experimental, nas camadas de 0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m.....	18
Tabela 2 - Caracterização química do solo.....	19
Tabela 3 - Espaço poroso, densidade do solo (D_s) e condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat}) da área experimental, nas camadas de 0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m..	25
Tabela 4 - Estatística descritiva das perdas de solo e água e rendimento de grãos de soja.....	27
Tabela 5 - Testes de normalidade das variáveis.....	30
Tabela 6 - Teste de Tukey do rendimento de grãos de soja.....	36
Tabela 7 - Análise de variância para a perda de água.....	53
Tabela 8 - Análise de variância para a perda de solo	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa das linhas isoeorodentes anuais do Estado do Paraná. Dados de 1986 a 2008 e valores médios anuais.....	12
Figura 2 - Modelo das unidades experimentais (calhas coletoras).....	19
Figura 3 – Calhas coletoras nos diferentes desníveis do solo.....	20
Figura 4 - Recipiente para recolhimento das perdas de solo e água.....	20
Figura 5 - Dados pluviométricos dos dias de coleta	22
Figura 6 - Boxplot da perda de solo por declividade.....	28
Figura 7 - Boxplot da perda de água por declividade	29
Figura 8 - Boxplot do rendimento de grãos de soja por declividade	30
Figura 9 - Gráficos dos modelos para a perda de água em função da densidade do solo (Ds) e macroporosidade (Macro) (a), Ds e condutividade hidráulica do solo saturado (ksat) (b) e Macro e Ksat (c).....	32
Figura 10 - Gráficos dos modelos para a perda de solo em função da densidade do solo (Ds) e macroporosidade (Macro) (a), Ds e condutividade hidráulica do solo saturado (ksat) (b) e Macro e Ksat (c).....	35
Figura 11 - Gráficos dos modelos para o rendimento em função da perda de solo (P. solo) e perda de água (P. Água) (a), P. solo e densidade de solo (Ds) (b) e P. água e Ds (c).....	38

CELANTE, Luana S., Ma. UNIOESTE – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Fevereiro de 2017. Taxas de Perdas de Solo e Água em um Latossolo Argiloso Sob Sistema Plantio Direto. Orientador: Prof. Dr. Deonir Secco. Coorientadores: Prof. Dr. Flávio Gurgacz e Prof^a. Dra. Araceli Ciotti de Marins

RESUMO

Os processos erosivos têm sido alvo de preocupação constante em relação ao manejo e uso do solo, em especial com reflexos na produtividade de culturas e na qualidade ambiental, principalmente pela perda de solo e água pelo escoamento superficial. Desse modo, o objetivo do presente trabalho foi quantificar as taxas de perdas de solo e água em um Latossolo argiloso sob sistema plantio direto, relacionando estas taxas com o rendimento de grãos de soja e desenvolver modelos que associem as taxas de perda de água e solo em função da variação da declividade. A área experimental localizou-se no município de Cascavel – PR, em lavoura comercial de soja. Foram consideradas 4 declividades pré-estabelecidas de 3,5%, 8,2% 11,4% e 13,5% como tratamentos, em que foram monitoradas as taxas de perdas de água e solo com as precipitações ocorridas durante o estudo. A água escoada em cada parcela foi recolhida em calhas confeccionadas de PVC e armazenadas em recipientes para quantificação e análise. Os dados obtidos foram avaliados estatisticamente pelo teste de Tukey. Não houve influência significativa das declividades utilizadas nas diferentes intensidades de chuva, nas perdas de água e solo. Houve diferença no rendimento de grãos de soja em que os tratamentos com declividades 8,2% e 13,5%, apresentaram maiores valores de rendimentos. A perda de solo e água apresentaram maior correlação com a macroporosidade e a densidade de solo em conjunto. O rendimento de grãos de soja apresentou maior correlação linear com a Perda de água e de solo. As baixas perdas de água e solo demonstram a capacidade do solo, manejado sob sistema plantio direto, de minimizar impactos ambientais.

Palavras-chave: rendimento de soja, erosão hídrica, manejo do solo

CELANTE, Luana. S., Ma. UNIOESTE – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. February 2017. Soil and Water Loss rates in a Argillaceous Latossolo Under no-tillage system. Adviser: Prof. Dr. Deonir Secco. Co-advisers: Prof. Dr. Flávio Gurgacz and Prof^a. Dra. Araceli Ciotti de Marins

ABSTRACT

Erosive processes have been a constant concern in relation to soil management and use, especially with reflections on crop yield and environmental quality, mainly due to the soil and water losses from runoff. Thus, the objective of the present work was to quantify soil and water loss rates in a clayey Oxisol under no-tillage system, relating these rates to soybean grain yield and to develop models that associate water and soil loss rates depending on the slope variation. The experimental area is located in a municipality of Cascavel - PR, commercial crop of soybeans. The treatments were four pre-established slope of 3.5%, 8.2%, 11.4% and 13.5% which were monitored water and soil loss rates at different rainfall events. The soil and water losses were collected in gutters made of PVC and stored in containers for measurement and analysis. The obtained data were statistically evaluated by the Tukey test. There was no significant influence of the slopes used in the different rain intensities, in the water and soil losses. There was a difference in soybean grain yield in which treatments with slopes 8.2% and 13.5% showed higher values. The loss of soil and water presented a higher correlation with macroporosity and soil density together. The soybean grain yield presented a higher linear correlation with the loss of water and soil. The low water and soil losses demonstrate the soil capacity, managed under the no-tillage system, to minimize environmental impacts.

KEYWORDS: Soybean yield, water erosion, soil management

ÍNDICE

LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Latossolos	3
2.2. Atributos físicos do solo.....	4
2.3. Infiltração e escoamento superficial.....	5
2.4. Compactação X Erosão do solo	6
2.5. Perda de água e solo	7
2.6. Sistema plantio direto e sua relação com as perdas de solo e água.....	9
2.7. Impacto da erosão na redução da produtividade de cultivos	13
2.8. Associação de modelos de perda de água e solo relacionados com o rendimento de grãos de cultivos agrícolas	14
2.9. A cultura da soja.....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1. Localização e descrição da área de estudo	18
3.2. Tratamentos e delineamento experimental	19
3.3. Determinação das propriedades físicas e perda de água e solo.....	21
3.4. Semeadura e colheita da soja	22
3.5. Dados pluviométricos durante o ciclo da soja	22
3.6. Análise estatística.....	23
3.6.1. Estatística descritiva e teste de comparação de médias	23
3.6.2. Análise de Regressão linear.....	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
4.1. Estatística descritiva e testes de normalidade	25
4.2. Perda de Água	31
4.3. Perda de Solo.....	33
4.5. Rendimento de grãos de soja.....	36
5. CONCLUSÕES	40
6. REFERÊNCIAS	41
Anexo 1	53

1. INTRODUÇÃO

Os processos erosivos têm sido alvo de preocupação constante em relação ao manejo e uso do solo, em especial com reflexos na produtividade de culturas e na qualidade ambiental. A perda de biodiversidade, assoreamento, contaminação dos recursos do solo e água e perda da cobertura vegetal podem ser agravadas por fatores antropogênicos ou fatores relacionados ao uso e manejo do solo que provocam a erosão, com reflexos em terras improdutivas e comprometimento da qualidade e quantidade dos recursos hídricos (COSTA et al., 2007).

Minella et al. (2007) definem a erosão como o processo em que as partículas de solo são desprendidas de sua matriz coesa e em seguida carregadas na direção jusante, por um agente de transporte. O escoamento superficial é o fator de maior influência para a erosão, ocorrendo através da instabilidade entre solo, vegetação e organismos do solo, geralmente por intervenção humana (MEHL, 2000).

Atributos como a textura, teor de matéria orgânica e estabilidade dos agregados, manejo do solo, intensidade da chuva, entre outros, podem influenciar a erodibilidade do solo (MARTINS FILHO et al., 2001; COGO; LEVIEN; SCHWARZ, 2003; AMARAL et al., 2008; SANTOS et al., 2013).

Cogo, Levien e Schwarz (2003) citam a inclinação do terreno como outro fator que influencia as perdas de solo e água por erosão hídrica, pois segundo os autores, à medida que a inclinação aumenta, afeta o volume e a velocidade da enxurrada reduzindo assim a infiltração de água no solo.

Os atributos físicos do solo como densidade, macro e microporosidade e condutividade hidráulica do solo saturado (k_{sat}) também influenciam na perda de água e solo, uma vez que o comportamento destes atributos implica diretamente na infiltração de água no solo (MESQUITA; MORAES, 2004; PRIMO et al., 2015).

Como consequência das perdas de solo causada pelos processos erosivos, há impacto na espessura dos solos, reduzindo sua capacidade de retenção e redistribuição da água em seu perfil, resultando em maiores escoamentos superficiais, conseqüentemente, em maiores taxas de erosão do solo (SANTOS; GRIEBELER; OLIVEIRA, 2010).

A perda de solo e água pelo escoamento superficial pode causar grandes prejuízos para as culturas energéticas e pode acarretar na contaminação dos cursos

d'água. Assim estudos sobre a perda de água e solo podem orientar na tomada de decisão sobre o sistema de manejo.

Diante do exposto, o presente trabalho objetivou quantificar as taxas de perdas de solo e água em um Latossolo argiloso sob sistema plantio direto relacionando estas taxas com o rendimento de grãos de soja e, desenvolver modelos que associem as taxas de perda de água e solo, em função da variação da declividade.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Latossolos

Como consequência da atuação do material de origem, clima, relevo, tempo e organismos e os processos como a adição, remoção, translocação e transformação, os solos existentes na paisagem refletem sua história, desde sua gênese até o presente. Fenômenos físicos e químicos diferenciados atuam no material de origem, motivando progressivas transformações e determinando as características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas dos solos formados (GHIDIN et al., 2006).

Característicos de regiões de climas tropicais, os Latossolos são solos extremamente intemperizados, com predominância de argilominerais do tipo 1:1, como a caulinita (REIS et al., 2014). São tipicamente profundos, com presença de oxihidróxidos de Fe e Al, com diferentes proporções desses minerais, dependendo do material de origem e da intensidade de intemperismo (SCHAEFER; FABRIS; KER, 2008)

Apresentando distribuição relativamente uniforme de argila ao longo do perfil, alta estabilidade de agregados e baixo conteúdo de silte, em comparação à argila, os solos denominados por Latossolos são profundos, com coloração homogênea com matizes avermelhadas e/ou amareladas (KER, 1997).

Os Latossolos favorecem os sistemas de produção em larga escala, por meio da mecanização pelo relevo plano ou suave ondulado (PACHECO et al., 2015). Em virtude do trânsito de máquinas agrícolas de forma intensiva e do revolvimento, o seu manejo inadequado tem favorecido sua compactação, ainda que apresentem boas propriedades físicas (VALICHESKI et al., 2012).

No Estado do Paraná os solos têm predominância de textura argilosa, porém com o avanço das culturas produtoras de grãos ocorreram usos intensivos para o preparo do solo e conseqüentemente surgiram problemas como erosão, compactação e a perda da fertilidade e de matéria orgânica, que são implicações destes sistemas de manejo empregados e influem na produção dos cultivos (TORMENA et al., 2004).

Os Latossolos constituem a principal classe de solo encontrada no Paraná, sendo distribuído em 31% do território estadual (LIMA; LIMA; MELO, 2012). De acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2013), o Estado do

Paraná é o segundo maior produtor nacional de grãos e essa produção depende da qualidade do manejo empregado e de ações de conservação do solo.

2.2. Atributos físicos do solo

Segundo Reichert, Reinert e Braida (2003), em física do solo, a qualidade está associada àquele solo que permite a infiltração, retenção e disponibilização de água às plantas, córregos e subsuperfície; responde ao manejo e resiste à degradação; permite as trocas de calor e de gases com a atmosfera e raízes de plantas e permite o crescimento das raízes.

Segundo Mesquita e Moraes (2004), a medida da condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat}) e da macroporosidade do solo são provenientes do mesmo espaço poroso, portanto, entre estas variáveis, é esperado que haja uma correlação. Os autores relatam que os processos de infiltração de água no solo, irrigação e drenagem, perdas de solo por erosão e de substâncias químicas por lixiviação são relacionados ao fluxo de água.

O valor máximo de condutividade hidráulica é atingido quando o solo se encontra saturado, e é denominado de condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) (REICHARDT, 1990). Sendo a K_{sat} parâmetro importante, porque se relaciona com a infiltração de água através do solo e conseqüente disponibilidade de nutrientes às plantas (MESQUITA; MORAES, 2004).

Para Reinert e Reichert (2006), a porosidade é responsável por um conjunto de fenômenos e desenvolve uma série de mecanismos de importância na física do solo, tais como a retenção e fluxo de água e ar. Sendo a microporosidade responsável pela retenção e armazenamento de água, enquanto a macroporosidade influencia a infiltração e a drenagem da água no solo (BRADY, 1979; REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007).

De acordo com Machado e Favaretto (2006) a densidade do solo é dependente do espaço poroso, deste modo, solos com maior porosidade têm menor densidade, e dessa maneira, todos os fatores que interferem no espaço poroso irão interferir na densidade do solo.

2.3. Infiltração e escoamento superficial

O uso de máquinas agrícolas em condições inadequadas de umidade de solo causa alterações nas propriedades físicas do mesmo, que diminuem a resposta dos solos e culturas à infiltração e, conseqüentemente, na capacidade do solo para disponibilizar água para as culturas (SECCO et al., 2004).

A infiltração de água é um dos processos que melhor refletem as condições físico-hídricas do solo, pois a qualidade estrutural condiciona uma distribuição do tamanho de poros favorável ao crescimento de raízes, à aeração e à infiltração de água no solo, refletindo na qualidade da água para a produção agrícola (POTT; DE MARIA, 2003; RAMOS et al., 2015).

A redução da taxa de infiltração básica de água no solo pode ser atribuída a cobertura do solo, declividade do terreno, presença de camadas subsuperficiais compactadas, conteúdo de água no solo antecedente à precipitação e à formação de selo superficial (REICHERT; VEIGA; CABEDA, 1992; FONTANA et al., 2016).

De acordo com Zonta et al. (2012) o processo de infiltração de água no solo é um importante componente do ciclo hidrológico, pois, junto com a precipitação pluvial, determina a quantidade de água que se torna disponível para as plantas, o escoamento superficial e o abastecimento dos reservatórios de águas subterrâneas.

Bertol et al. (2015) observam que a infiltração é a passagem da água por meio da superfície do solo e pode ser influenciada pelo tipo de solo e cultivo, pela rugosidade e cobertura superficial e pelo teor de água no solo. Já o escoamento superficial está relacionado essencialmente às características climáticas e físicas da área, como intensidade e duração da precipitação, ao tipo de solo, à declividade do terreno e à cobertura vegetal (SANTOS; LOLLO, 2016).

O escoamento superficial transporta partículas de solo em suspensão, nutrientes, matéria orgânica, sementes e defensivos agrícolas, prejudicando a produção agropecuária e poluindo os recursos hídricos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990). Tucci (2001) salienta que a geração do escoamento superficial é determinada por variáveis e atributos físicos, destacando-se as características da precipitação e a capacidade de infiltração de água no solo. Este escoamento superficial é responsável pelo carregamento de partículas do solo no sentido da maior para menor declividade.

De modo geral, sob determinada intensidade constante de chuva, a infiltração e o escoamento superficial são processos antagônicos: à medida que a infiltração diminui o escoamento superficial aumenta, até atingirem certo equilíbrio dinâmico ou estabilização (SPOHR et al., 2009).

Assim torna-se essencial o estudo das características que influenciam na erosão, já que a erosão do solo é considerada um dos maiores problemas ambientais globais, além de proporcionar perdas de solo e nutrientes, está associada a inundações, assoreamento e poluição de corpos hídricos (WANG et al., 2016). A chuva e o escoamento superficial, associados, são os agentes ativos na erosão hídrica, a qual é influenciada ainda pelo tipo de solo, relevo, cobertura e manejo do solo e práticas conservacionistas (ARGENTON et al., 2005; CAMPOS et al., 2008; BERTOL et al., 2014).

A erosão do solo resulta em consequentes impactos na produtividade agrícola, na qualidade da água e no assoreamento de cursos e reservatórios d'água, assim a compreensão sobre o processo físico envolvido na erosão é essencial para disponibilizar medidas de controle práticas e econômicas (PRUSKI; RODRIGUES; SILVA, 2001).

2.4. Compactação X Erosão do solo

Com a modernização da agricultura, o peso dos equipamentos e máquinas agrícolas e o uso do solo têm aumentado significativamente, como nos sistemas de cultivo intensificados, e observa-se maior risco de compactação devido ao aumento da frequência do tráfego de máquinas e a das operações culturais adicionais (SCAPINELLI et al., 2016).

Em áreas com manejo do sistema plantio direto inadequado, uma das principais causas para a degradação do solo é a compactação. Nesse sistema de manejo, ocorre geralmente a compactação superficial do solo pelo tráfego de máquinas (BERGAMIN et al., 2015). As operações agrícolas, quando realizadas sem o controle do teor de água do solo provocam aumento da área compactada (KLEIN, 2006; SEVERIANO et al., 2008).

O solo compactado provoca redução na quantidade de macroporos e elevação de sua densidade, o que resulta em menor infiltração de água e aumento na

predisposição à erosão hídrica, afetando o crescimento das plantas (BEUTLER; CENTURION, 2003; FOLONI; LIMA; BULL, 2006). A erosão é um dos principais problemas ambientais no que diz respeito à qualidade dos recursos hídricos e da degradação dos solos (DERPSCH et al., 1991; CARVALHO et al., 2014).

A erosão hídrica é um processo mecânico envolvendo a energia do impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo, diretamente associados com a energia cinética das chuvas e a tensão de cisalhamento correspondente ao próprio escoamento superficial (PANACHUKI et al., 2011).

Sendo os principais fatores relacionados às condições do terreno, que determinam a intensidade do processo erosivo, estão diretamente relacionados à erodibilidade do solo, que é determinada por fatores como declividade, capacidade de infiltração de água no solo, rugosidade superficial porcentagem de cobertura do solo (CARVALHO et al., 2012).

De acordo com Santos, Griebeler e Oliveira (2010), as precipitações pluviométricas com maior intensidade e com grande frequência aumentam o risco de ocorrência da erosão. Essas características são mais significativas quando associadas às condições de relevo, características físico-hídricas do solo e uso e manejo inadequados (CARVALHO et al. 2012). Assim, por apresentam consideráveis alterações em termos de intensidade durante sua ocorrência, as chuvas naturais podem ser classificadas em diferentes padrões ou perfis de precipitação, além de sofrerem influência de anomalias climáticas (DEN BIGGELAAR et al., 2001; AMADO; PROCHNOW; ELTZ, 2002; ALBERTO et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2010).

Como a erosão é um processo predominantemente de superfície, as condições físicas da camada superficial do solo, externas e internas, são as que irão determinar as perdas totais de solo e água (OLIVEIRA et al., 2012).

2.5. Perda de água e solo

O manejo do solo influencia a perda de solo e água e juntamente com a cobertura do solo pelos resíduos culturais afetam a erosão hídrica. Alguns trabalhos têm demonstrado a existência de uma relação direta das perdas de solo com a erosão, em culturas agrícolas (HERNANI et al., 1997; BERTOL et al., 2001; LEITE et al., 2009; MARQUES; WEILL; SILVA, 2010)

Cogo, Levien e Schwarz (2003), ao trabalhar com perda de solo em diferentes declividades, verificaram que nas declividades mais altas, as diferenças nas perdas entre os preparos de solo cresceram consideravelmente, porém com efeito mais pronunciado no preparo convencional, intermediário no preparo reduzido e menor na semeadura direta, ressaltando a importância dos resíduos culturais e o não revolvimento do solo, na redução da perda de solo.

Engel et al. (2007) quantificaram as perdas de água e solo por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo, sobre cultivo da soja, em Nitossolo Háplico Alumínico típico e verificaram que a semeadura direta foi o tratamento mais eficaz no estudo, em termos de redução das perdas de água e solo, mas ressaltam que outras variáveis, deveriam ser consideradas, tais como a infiltração de água no solo. Assim como Rieger et al. (2016), avaliaram as perdas de solo e água em diferentes sistemas de produção integrada sob chuva natural e verificaram que as perdas de solo e água variam de acordo com o uso do solo.

Outros trabalhos também evidenciaram a contribuição das práticas conservacionistas para a redução da perda de água e solo por escoamento superficial. Guadagnin et al. (2005) observaram que os sistemas conservacionistas de manejo do solo mostraram-se mais eficazes do que o preparo convencional na redução das perdas de solo e água, em relação ao solo sem cultivo, a semeadura direta foi mais eficaz do que o cultivo mínimo na redução das perdas de solo e água e as perdas de solo foram mais influenciadas do que as perdas de água pelos sistemas de manejo do solo.

Lanzanova et al. (2013), avaliaram as alterações temporais das taxas de escoamento da água e das perdas de solo provocadas pela transição do preparo convencional do solo para o sistema plantio direto (SPD), em Argissolo Vermelho distrófico, observaram que o SPD associado a plantas de cobertura do solo ocasionou a estabilização progressiva do solo e após três anos de sua implantação, a perda de solo foi semelhante e o escoamento de água foi menor, em comparação ao solo sob campo nativo.

Cândido et al. (2014) verificaram maiores perdas de solo em outros sistemas de manejo, em especial sem cobertura, ressaltando a importância da cobertura vegetal para a redução da perda de solo pela erosão hídrica. Nesse sentido, ainda ressaltam que os valores menores em Latossolos, deve-se principalmente às

características dos Latossolos que reduzem a erosão, como permeabilidade acentuada, coesão entre os agregados, estrutura entre blocos e granular e altos teores de matéria orgânica (CÂNDIDO et al., 2014).

Assim, sistemas de produção agrícola que são capazes de proporcionar a conservação do solo e da água são de crucial importância para alcançar o uso mais sustentável dos recursos naturais, como o solo e a água.

2.6. Sistema plantio direto e sua relação com as perdas de solo e água

O manejo agrícola que favorece a qualidade do solo é aquele que cultiva plantas intensamente, com espécies distintas, sem o revolvimento do solo (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). Sendo o principal sistema de manejo de solo utilizado na produção de grãos na região Sul do Brasil, o sistema plantio direto reduz as perdas de solo, água e nutrientes provocadas pela erosão hídrica, em comparação ao sistema convencional, mas existem limitações em relação à compactação do solo, sobretudo originada da acomodação natural de partículas e do tráfego de máquinas e equipamentos agrícolas (TORMENA et al., 2007) especialmente na camada superficial (COSTA et al., 2011).

O SPD é baseado em alguns princípios básicos, como a cobertura constante no solo com resíduos vegetais de outras culturas ou plantas e a diversificação de cultivos através do cultivo de múltiplas espécies, mediante a rotação, sucessão e consorciação de culturas, sem o revolvimento do solo, além de práticas mecânicas de conservação do solo (TIECHER et al., 2014).

Tiecher et al. (2014), ainda relatam que apenas uma fração das áreas cultivadas no Brasil seguem todos os princípios fundamentais desse sistema conservacionista; sendo a ausência de revolvimento do solo o único princípio empregado pelos agricultores principalmente pelo aprimoramento de implementos que possibilitaram a semeadura sem o revolvimento.

Assim houve o aumento da preocupação com as áreas agrícolas com problemas de compactação no Brasil e no restante do mundo, normalmente devido a operações mecanizadas realizadas sem considerar as condições de umidade do solo (SILVA; REINERT; REICHERT, 2000)

Quando comparado com o sistema de preparo convencional do solo, o SPD induz alterações morfoestruturais do perfil deste (BRONICK; LAL, 2005), reduzindo a macroporosidade e aumentando a resistência à penetração, bem como a densidade do solo, resultando na alteração do volume explorado pelas raízes (VALICHESKI, et al., 2016)

Alves Sobrinho et al. (2003), ao avaliarem a infiltração de água no solo em SPD e convencional, observaram que o SPD proporcionou valores de taxas de infiltração estável de água no solo superiores aos do preparo convencional, ressaltando-se ainda o efeito da palhada do SPD na redução do selamento superficial. O SPD tem a importância de beneficiar todo o sistema, a cobertura vegetal que permanece no solo, protege e melhora suas características químicas e físicas, evitando as perdas de solo, mantendo sua fertilidade, principalmente em regiões tropicais e subtropicais (CONTIERO et al., 2012).

Juntamente com a ocorrência da erosão no solo, que pode ocasionar perdas de solo, água, nutrientes e matéria orgânica, degradação da estrutura, redução da fertilidade química, física e biológica, o preparo e o manejo do solo influenciam as taxas de erosão hídrica, expondo-o ao impacto das gotas de chuva e a ação da enxurrada (OLIVEIRA et al., 2012), além de alterar o microrelevo e a cobertura por resíduos vegetais de sua camada superficial e causando a exposição da superfície do solo à erosão hídrica, dependendo do tipo de preparo (PANACHUKI et al., 2010).

Como resultado da interação de processos erosivos a partir do escoamento superficial, o transporte de solo pode ocorrer em terras cultivadas, causando perdas de solo e modificando as propriedades físicas do solo resultando na redução da produtividade das culturas. Ressalta-se, que os processos erosivos aumentam a variabilidade espacial das lavouras agrícolas, assim como o decaimento da capacidade produtiva do solo (SOUSA; MARTINS FILHO; MATIAS, 2012).

Devido ao fato da maioria dos agricultores não utilizarem técnicas de manejo nem de conservação adequadas de solo, as perdas por erosão continuam sendo elevadas no Brasil, a cada ano são perdidos, milhões de toneladas de solo agrícola devido à erosão (OLIVEIRA et al., 2010).

De tal modo o plantio direto é uma alternativa para a diminuição destas perdas, pois a palhada que permanece na superfície do solo funciona como uma proteção

física contra as perdas de água e solo por erosão, além de melhorar as características químicas, físicas e biológicas do solo (MOLINE et al., 2011).

De acordo com Denardin et al. (2008) devido a disseminação de que o SPD compõe prática conservacionista suficiente para controlar o potencial erosivo nos solos agrícolas, o terraceamento passou a ser considerado desnecessário, houve o abandono da semeadura em contorno e a adoção da semeadura paralela ao maior comprimento da gleba, independentemente do sentido do declive. Desta forma, as taxas de perdas de água e solo têm aumentado significativamente, já que tal manejo não tem propiciado condição suficiente para conter o potencial erosivo de chuvas intensas ocorrentes (DENARDIN et al., 2008).

Devido ao não revolvimento do solo ocorre o acúmulo de nutrientes em sua superfície (SCHICK et al., 2000) portanto em um solo erosivo aumenta a concentração de nutrientes na enxurrada (GILLES et al., 2009). A fim de evitar que estes nutrientes sejam levados pelo escoamento superficial para fontes de água, faz-se necessária a adoção de práticas conservacionistas, para reduzir as forças do processo erosivo complementares à cobertura do solo oferecida pelo SPD, como os terraceamentos, plantio em nível, dentre outros (OLIVEIRA et al., 2012)

Carvalho et al. (2012) relataram que algumas propriedades físicas do solo afetam a taxa de infiltração, permeabilidade e influenciam a resistência do solo, juntamente com as forças de dispersão, salpico e transporte, influenciando diretamente sobre o processo erosivo. Deste modo o comportamento espacial das características dos solos está diretamente relacionado com o transporte e o armazenamento de água no perfil do solo, ao controlar o sentido e a intensidade do fluxo superficial de água (LEÃO et al., 2010).

Além disso, as práticas conservacionistas, como o uso de terraços, plantio em nível e a cobertura vegetal reduzem significativamente as perdas de solo pelo processo erosivo (MOLINE et al., 2011; CONTIERO et al., 2012).

No Estado do Paraná, Waltrick et al. (2015), atualizaram estimativas de erosividade de chuvas realizadas por Castro Filho, Cataneo e Biscaia (1982), Rufino (1986) e Rufino, Biscaia e Merten (1993), com dados pluviométricos de 1986 a 2008, e concluíram que as regiões sudoeste, oeste e litoral são as mais críticas em termos de erosividade média anual (Figura 1) e que janeiro, maio e outubro são os meses de maior erosividade média mensal. Os autores explicam que a erosividade ocorre em

períodos de implantação das culturas de verão (outubro) e de inverno (maio) quando há menor cobertura vegetal sobre o solo e ressaltam que a adoção de práticas conservacionistas e manejo adequado de solo são fundamentais para evitar esse período potencial de erosão hídrica.

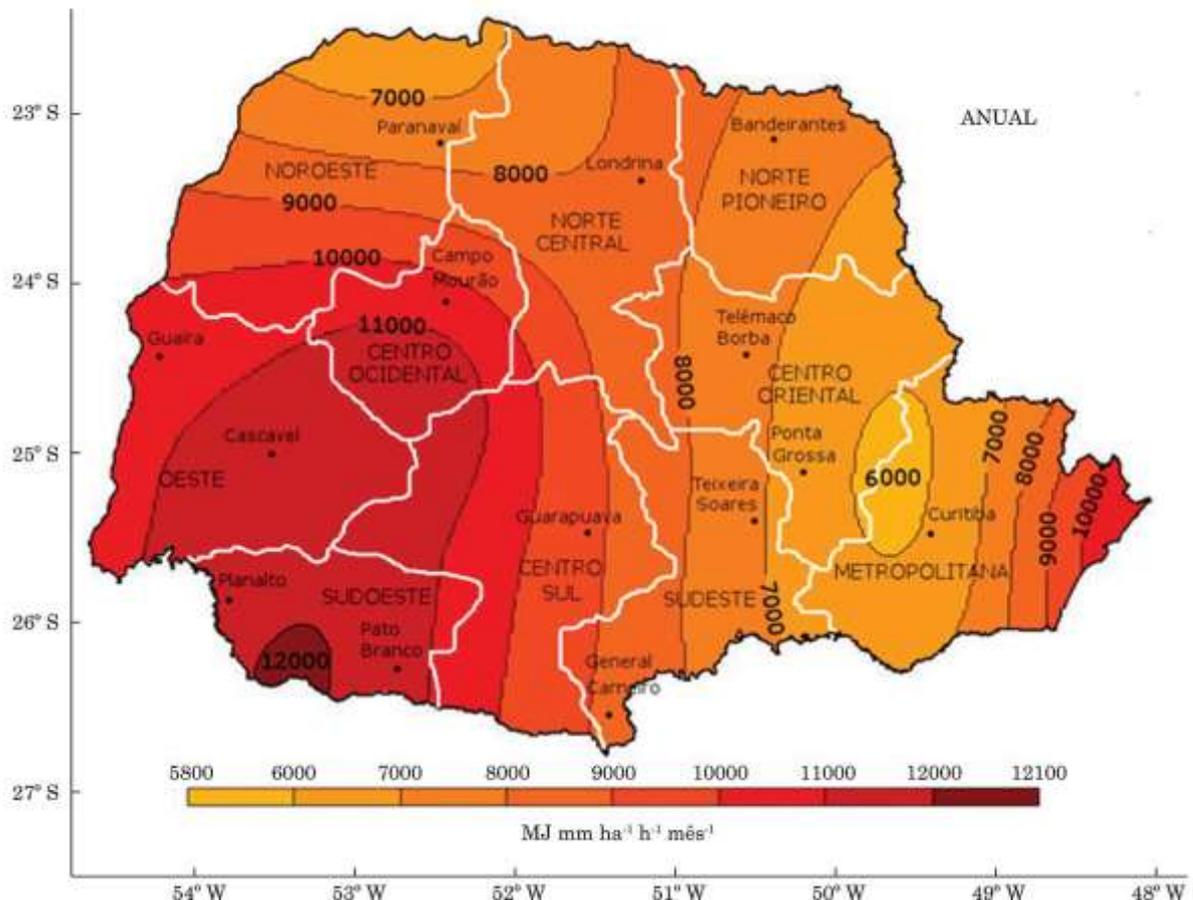


Figura 1 - Mapa das linhas isoeorodentes anuais do Estado do Paraná. Dados de 1986 a 2008 e valores médios anuais. Fonte: Waltrick et al. (2015).

Em comparação aos estudos de Rufino, Biscaia e Merten (1993), Waltrick et al. (2015), perceberam alterações em relação as linhas de estimativa de erosividade para o estado, nas regiões oeste e sudeste do Paraná, sugerindo aumento de erosão nessas áreas, o que pode ser indicativo do atual estado do SPD como a ausência de rotação, pouca cobertura vegetal, retirada dos terraços, plantio em desnível, que culminou em sérios problemas de compactação nos Latossolos e em decorrência desta, o aumento da erosão do solo.

2.7. Impacto da erosão na redução da produtividade de cultivos

Como um dos principais fatores de degradação das características do solo, a erosão é causada pelas práticas inadequadas de manejo e de conservação utilizadas na atividade agrícola, principalmente pela exploração intensiva (BRITO et al., 2008), podendo causar danos ambientais, como o assoreamento e a eutrofização de cursos d'água, além de prejuízo econômico ao produtor e à sociedade (CARDOSO et al., 2012).

A erosão é vista como a fase mais importante da degradação, com consequentes efeitos negativos sobre a produtividade das culturas e poluição ambiental (SANTOS et al., 2013). Segundo Bertol, González e Vázquez (2007), independente do sistema de manejo utilizado, o custo em relação às perdas anuais de adubos pela erosão hídrica é relativamente elevado.

Verity e Anderson (1990), observaram menores produções de grãos nas parcelas de solo erodido fertilizado do que nas parcelas com reposição de solo e observaram que a erosão é a principal causa da redução de qualidade do solo.

Gaertner, Dedecek e Biscaia (2003), verificaram o efeito da erosão hídrica simulada pela retirada de camadas superficiais de solo e causada pela chuva, na produtividade da soja e observaram que a produtividade foi reduzida em 148 kg ha⁻¹ por cm de solo removido na espessura de solo de 0-0,06 m e de 105 kg ha⁻¹ por cm de solo removido na espessura de 0-0,14 m. Em 2006 os autores observaram perdas de soja de 139 kg ha⁻¹ para cada centímetro de solo perdido por erosão hídrica e notaram nas raízes de soja, tendência de aumento do sistema radicular com a maior retirada de camadas de solo (GAERTNER; DEDECEK; BISCAIA, 2006).

Bonini et al. (2011) verificaram a diminuição da produtividade e na taxa de infiltração de água no solo, em consequência da alteração do estado estrutural do solo (aumento da densidade e redução do volume de macroporos), atributos importantes para a infiltração de água e trocas gasosas.

Dantas e Monteiro (2010) mensuraram economicamente os custos internos da área de produção de soja no cerrado piauiense, sob os sistemas de plantio direto e convencional, causados pelo processo de erosão e verificaram que o uso do SPD no cultivo de soja proporcionou vantagens econômicas, com relativa estabilidade do valor da perda de solo no período da análise.

2.8. Associação de modelos de perda de água e solo relacionados com o rendimento de grãos de cultivos agrícolas

Como um dos grandes impactos causados pela implantação da agricultura, os processos erosivos provocam efeitos negativos tanto no ambiente quanto na produção agrícola (MALHI et al., 1994; MARQUES; PAZZIANOTTO, 2004; OYEDELE; AINA, 2006; BRUNEL et al., 2011). Assim, muitos modelos matemáticos estão sendo desenvolvidos, em virtude desses problemas causados, para descrever e prever a ocorrência desses fenômenos (FARINASSO et al., 2006).

A modelagem e o desenvolvimento e uso de modelos de predição e simulação, em especial no processo de erosão, é uma ferramenta importante para o desenvolvimento de avaliações confiáveis de predições de perdas de solo e planejamento de medidas de controle deste fenômeno (SANTOS et al., 2010).

Um exemplo é a EUPS – Equação Universal de Perda de Solos (USLE – Universal Soil Loss Equation), formada a partir da união de dados de perdas de solo citados por Wischmeier e Smith (1978), que é um dos métodos de avaliação de perda de solo mais empregado atualmente, como pode ser observado na literatura (VALLE JUNIOR et al., 2010; GUIMARÃES et al., 2011; MIQUELONI, BUENO, FERRAUDO, 2012).

De acordo com Valle Junior et al. (2010), a EUPS auxilia na predição da perda de solo de uma determinada área em função dos fatores que representam o clima, o solo, o relevo e o uso da terra. Sendo um modelo empírico, gerado a partir de informações coletadas em campo, estimando a erosão difusa e concentrada, podendo ser utilizada como técnica norteadora de planos de gestão de uso do solo em escala local, como propriedades agrícolas, encostas, ou exploração do solo em pequenas áreas (SILVA et al., 2010).

Guimarães et al. (2011), com o intuito de identificar as áreas mais suscetíveis aos processos erosivos em uma microbacia, verificaram que áreas com estradas florestais, áreas urbanizadas e áreas cobertas por capoeira, em Argissolos, com declividades acentuadas, apresentaram as maiores taxas de perda de solo por erosão laminar. Já Miqueloni, Bueno e Ferraudó (2012), avaliando a perda de solo em uma área de nascente de uma microbacia, verificaram os fatores da perda de solo se

destacaram pela atuação localizada, com influência dos fatores de erodibilidade e topografia nas áreas cultivadas e cobertas por vegetação.

Outros exemplos, que são utilizados na predição de perda de solos, como o SWAT - Soil and Water Assessment Tool (ARNOLD; ALLEN, 1996), utilizado por Machado, Vettorazzi e Xavier (2003), na simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma bacia hidrográfica, verificaram que são necessárias práticas de controle dos processos erosivos ou mudanças de uso do solo, e não somente a proteção dispensada aos cursos d'água por meio da mata ciliar. Já Silva et al., (2011) estimaram a perda de solo em uma bacia hidrográfica baiana, os autores compararam a simulação das perdas de solo em cada sub-bacia, podendo determinar as suas respectivas perdas de solo. Tais exemplos demonstram a variabilidade de aplicações dessas ferramentas.

Hernani (1999), ao avaliar durante 10 anos os efeitos de sistemas de manejo a respeito das perdas por erosão hídrica superficial de solo, água, nutrientes e matéria orgânica, em comparação com os rendimentos de soja e de trigo, cultivados em sucessão em um Latossolo Roxo, concluiu que o plantio direto é o sistema mais eficaz na redução das perdas por erosão de solo, água, nutrientes e matéria orgânica e que proporciona os maiores rendimentos de grãos de soja e de trigo, cultivados em sucessão.

Considerando-se a ampla variabilidade dos fatores de perda de solo e a grande influência do relevo e da erosividade das chuvas no processo erosivo, a aplicação destas ferramentas ao estudo da perda de solo pode oferecer novos parâmetros para a determinação da interação de cada fator associado ao processo erosivo (MIQUELONI; BUENO; FERRAUDO, 2012).

Outra forma de avaliar o comportamento de uma variável em função de outras é utilizando a análise de regressão linear. A regressão linear é uma técnica estatística para modelar e investigar a relação entre variáveis (MONTGOMERY; PECK; VINING, 2001). A regressão linear múltipla é uma variação mais geral e comum da regressão linear. É um conjunto de técnicas estatísticas que consiste de uma variável chamada de dependente estar relacionada a uma ou mais variáveis independentes por uma equação linear (KRAJEWSKI; RITZMAN; MALHOTRA, 2009). Por meio do método "stepwise backward", as variáveis de menor significância no modelo são eliminadas uma a uma até que permaneçam apenas as de influência significativa.

Assim, encontrar modelos de regressão linear múltipla pode constituir-se em uma ferramenta muito importante para a verificação do comportamento da perda de água e solo, assim como os modelos matemáticos de previsão.

2.9. A cultura da soja

A introdução recente dos biocombustíveis, decorrente de pressões sociais, políticas públicas ou demandas de mercado, resultou em aumentos na demanda de matéria prima, em geral em cultivos que tem dupla finalidade (alimento e energia), elevando a demanda agregada acima da capacidade de resposta imediata pelo incremento de produtividade (GAZZONI, 2014). Assim a soja também tem sido utilizada no Brasil como fonte de matéria prima para a produção de biocombustíveis.

Com o crescimento e demanda da produção de soja, o produtor rural passou a utilizar novas tecnologias e novas técnicas de manejo do solo, o que acarretou no aumento de estudos voltados a conservação da estrutura do solo. No cenário agrícola mundial a soja tem sido o quarto grão mais consumido e produzido globalmente, além de ser a principal oleaginosa cultivada no mundo, fazendo parte do conjunto de atividades agrícolas com maior destaque no mercado mundial (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2014).

Neste contexto, a soja, além de ser a principal oleaginosa cultivada no mundo, faz parte do conjunto de atividades agrícolas com maior destaque no mercado mundial (EMBRAPA, 2010). O Brasil participa com cerca de 28,6% e 32,8%, respectivamente, da produção e da exportação de soja em grão (USDA, 2011). De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento - Conab (2015), o Paraná é o segundo maior produtor do país, em 2014 o estado produziu cerca de 14,78 milhões de toneladas de grãos, com média de produtividade de 3.324 Kg ha⁻¹ de soja, apresentando grande importância econômica ao estado.

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura - FAO (2015) a soja deve continuar sendo o produto de exportação mais lucrativo com mais de metade da produção brasileira destinada aos mercados mundiais, com exportações que devem gerar R\$ 87,5 bilhões (US\$ 22,8 bilhões) em 2024. Esses indicadores econômicos demonstram a importância da produção de soja para a agricultura brasileira.

Deste modo, torna-se essencial o uso de tecnologias que auxiliem na produção de soja, já que seu desenvolvimento e produtividade dependem da interação da soja com o ambiente e o manejo adotado.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e descrição da área de estudo

O experimento foi conduzido na área rural do município de Cascavel-PR, a cerca de 8 km da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, localizado a latitude 25° 03' 28,84" S, longitude 53° 26' 25.48" O e altitude média de 655 m. O clima da região, conforme a classificação de Köppen (Cfa) (IPARDES, 2012), se caracteriza como subtropical e a pluviosidade média anual na bacia varia de 1600 a 2000 mm (CAVIGLIONE et al., 2000).

O estudo foi desenvolvido na safra 2015/2016, em SPD, com a cultura de soja sobre a palhada de trigo. Após a demarcação do esquema amostral, foram realizadas amostragens de solo para a determinação da granulometria nas camadas de 0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m (Tabela 1).

Tabela 1 – Proporções relativas das frações areia, silte e argila da área experimental, nas camadas de 0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m.

CAMADA (m)	GRANULOMETRIA		
	AREIA (%)	SILTE (%)	ARGILA (%)
0,0 – 0,1	7,09	47,35	45,56
0,1 - 0,2	8,70	49,04	42,26
0,2 - 0,3	6,96	49,18	43,85
MÉDIA	7,58	48,52	43,89

O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico, textura argila siltosa (EMBRAPA, 2013). Para caracterização química do solo (Tabela 2), foram coletadas amostras na camada de 0-0,1m e enviadas para análise no Instituto Agrônômico do Paraná – IAPAR.

Tabela 2 - Caracterização química do solo

pH	P	C	Al ³⁺	H+Al	Ca	Mg	K	SB	T	V
	Mg dm ⁻³	g dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³							%
4,9	23,4	21,81	0,11	6,68	8,05	2,52	0,87	11,44	18,12	63,1

SB-Soma das bases; T – Capacidade de troca de cátions; V – Saturação por bases.

3.2. Tratamentos e delineamento experimental

Foram construídas quatro calhas coletoras (Figura 2) de 9 m² (3,0 x 3,0 m), que foram alocadas em lavoura comercial de soja com declividades pré-estabelecidas de 3,5%, 8,2%, 11,4% e 13,5%, em que foram contornados com limitadores de grama com 0,15 m de largura.

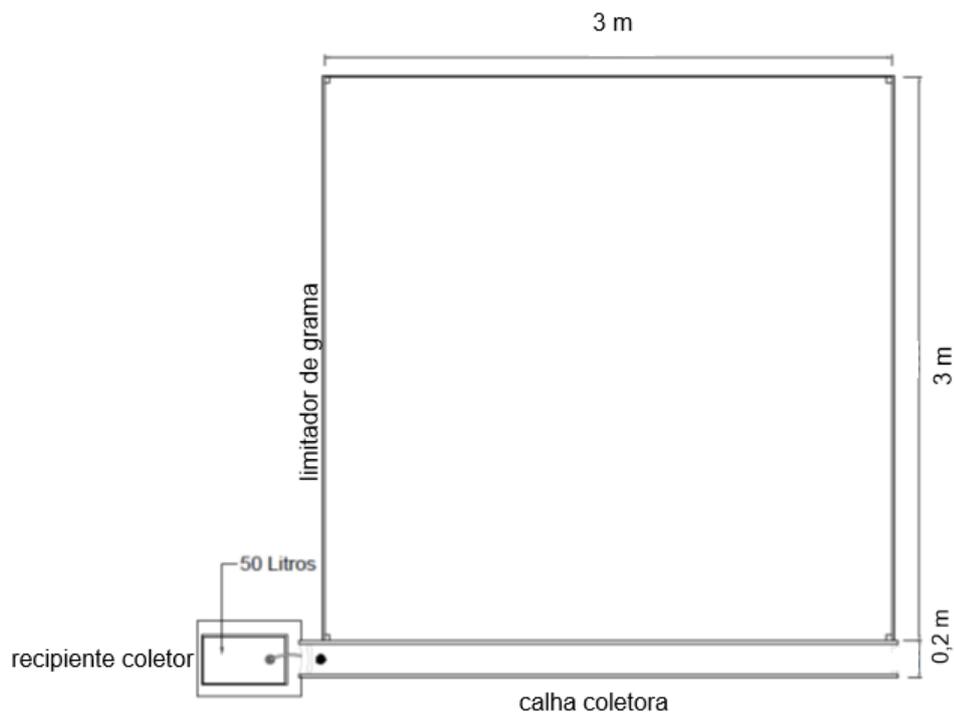


Figura 2 - Modelo das unidades experimentais (calhas coletoras).

As calhas foram enterradas a 0,10 m no solo (Figura 3).

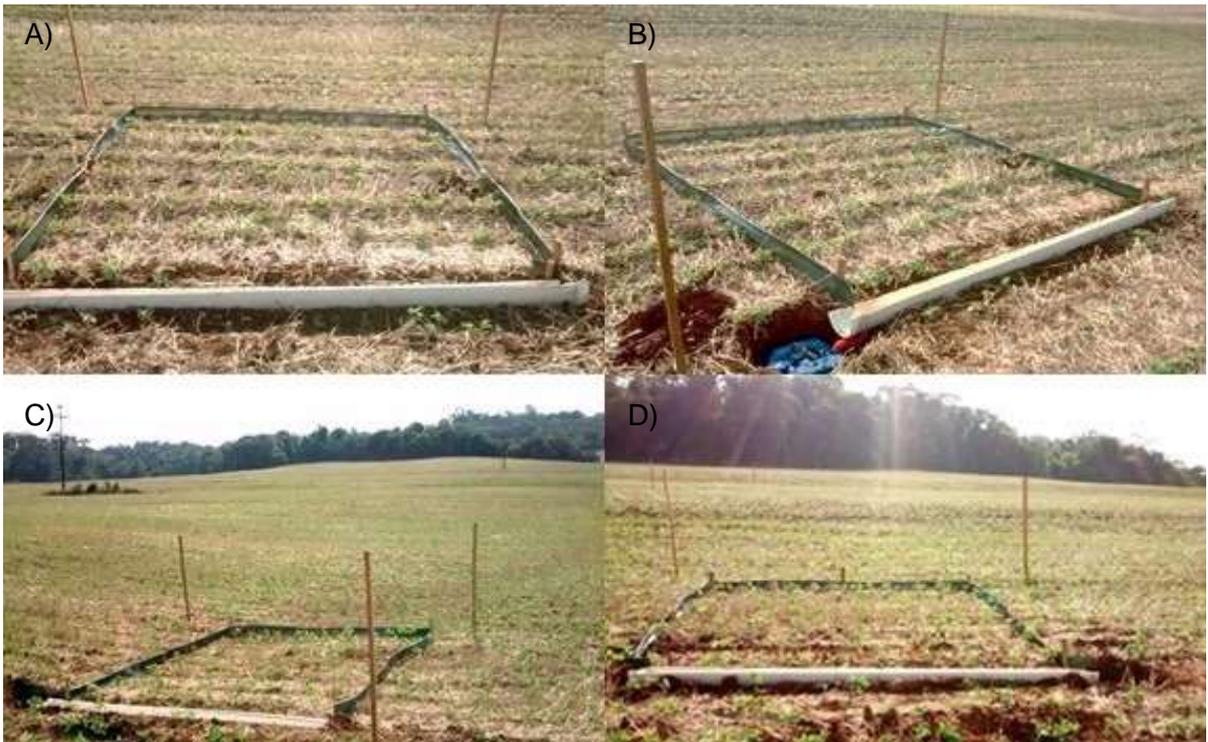


Figura 3 – Calhas coletoras nos diferentes desníveis do solo.

Em cada parcela foram utilizadas calhas de PVC confeccionadas no laboratório de Máquinas Agrícolas da UNIOESTE, de 3 metros de comprimento e 0,2 m de diâmetro, para recolhimento das perdas de água e solo, que foram armazenadas em recipientes de 50 litros (Figura 4), para coleta e análise.



Figura 4 - Recipiente para recolhimento das perdas de solo e água

O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso sendo as quatro declividades os tratamentos e 29 eventos de precipitações ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura da soja representando as repetições. Após cada precipitação, foram quantificadas as perdas de água e solo por escoamento superficial, armazenados na caixa coletora em cada tratamento.

3.3. Determinação das propriedades físicas e perda de água e solo

O volume de água escoado após cada precipitação foi determinado diretamente por meio de provetas graduadas. Para a quantificação da massa de solo perdida, retirou-se uma amostra representativa do volume da enxurrada escoado para o depósito, após homogeneização, no Laboratório de Física do Solo da Unioeste - Cascavel. Das amostras do volume de enxurrada coletadas no campo foram retiradas sub-amostras de 50 ml e colocadas na estufa a 105°C de temperatura para evaporação da água, após a evaporação, a quantidade de solo perdida por erosão foi quantificada. Assim, da massa de solo quantificada nos 50 ml, extrapolou-se a massa total de solo perdida a cada chuva.

A granulometria foi determinada de acordo com o método do densímetro em dispersão de água e em hidróxido de sódio (NaOH) e a densidade do solo com o método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997). A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico com álcool, conforme metodologia preconizada pela Embrapa (1997). A porosidade total foi calculada usando-se a densidade do solo (D_s) e densidade de partícula (D_p), pela equação 1 proposta por Vomocil (1965):

$$PT (\%) = \left(1 - \frac{D_s}{D_p}\right) \times 100 \quad (1)$$

A macroporosidade foi determinada em coluna de areia com anéis saturados por 48 horas e a microporosidade através da evaporação em estufa a 105°C até peso constante (EMBRAPA, 1997). A condutividade hidráulica saturada foi determinada

após saturação prévia das amostras por 24 horas, e posteriormente, colocadas em permeâmetro de carga constante (EMBRAPA, 1997).

3.4. Semeadura e colheita da soja

A semeadura da cultura da soja foi realizada no dia 12 outubro de 2015, em toda a área experimental. A colheita foi realizada manualmente, na área experimental (área total da calha), no final dia 28 janeiro de 2016. Para todos os tratamentos a umidade dos grãos de soja foram corrigidas a 13%. Foi quantificada o número de pés de soja e determinado sua produção relativa para verificação do rendimento.

3.5. Dados pluviométricos durante o ciclo da soja

Os dados pluviométricos dos dias de coleta durante o ciclo da soja são apresentados na Figura 5.

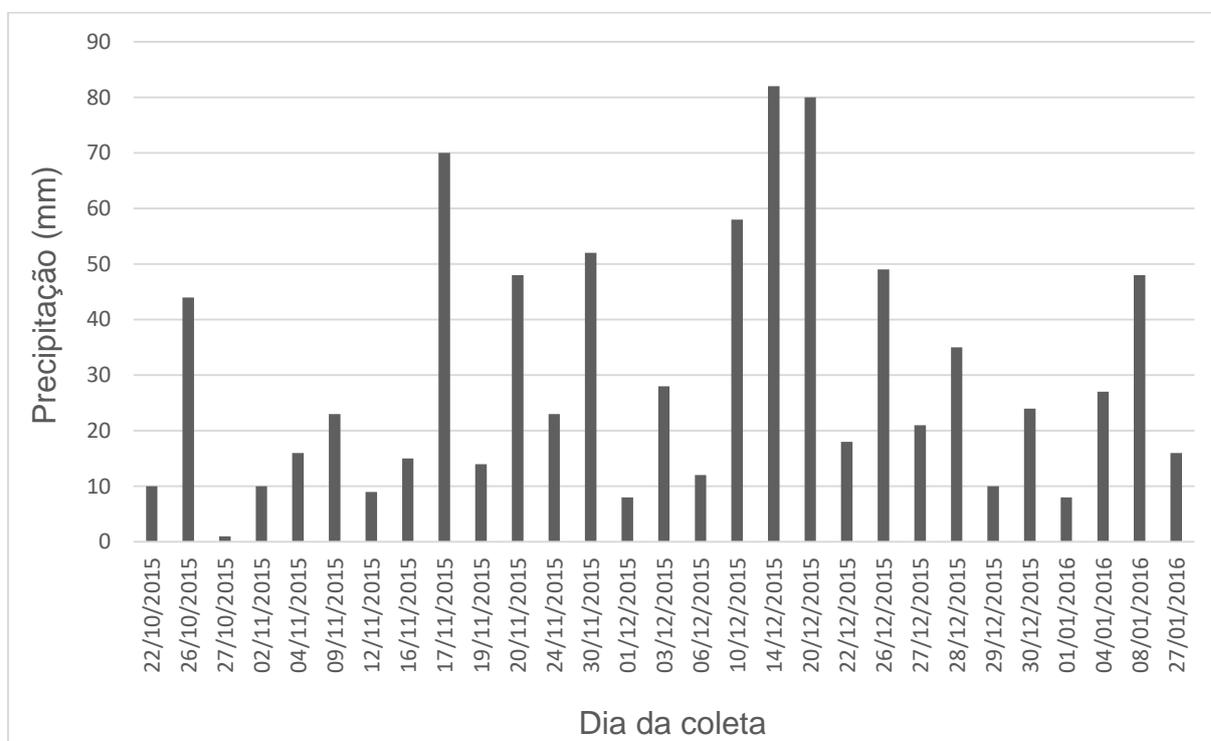


Figura 5 - Dados pluviométricos dos dias de coleta

De acordo com a Figura 5, verifica-se que ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura da soja, não ficou evidenciado falta de água para seu pleno desenvolvimento.

3.6. Análise estatística

3.6.1. Estatística descritiva e teste de comparação de médias

Os fatores de perda de solo, água e rendimento de grãos de soja, foram analisados por meio de estatística descritiva, calculando a média, mediana, variância, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose. Para a comparação das médias de tratamentos, foi utilizado o teste de Tukey a 5% de significância. Para a análise dos dados foi utilizado o software R (R CORE TEAM, 2016).

Para verificação de normalidade dos dados foram utilizados testes de normalidade. Os testes são alguns dos vários testes utilizados para normalidade dos dados, como por exemplo, para o teste Shapiro-Wilk, H_0 : os dados possuem distribuição normal de probabilidades versus H_1 : os dados não possuem distribuição normal de probabilidades. A decisão é feita a partir do valor de p-value, se este for menor que $\alpha\%$, rejeita-se H_0 , geralmente, se $p\text{-value} < 0.05$ os dados não têm distribuição normal de probabilidades e neste caso, realiza-se uma transformação nos dados.

Os dados de perdas de água e solo foram separados por classe de intensidade de chuva para realizar a avaliação da influência da declividade na perda de solo e água pelo teste de aderência. Não houve influência significativa da declividade em ambas as variáveis respostas. Por este motivo, não foram considerados classes distintas de chuva nas análises seguintes.

3.6.2. Análise de Regressão linear

Para análise da regressão da perda de água, constituiu-se a variável perda de água (P. Água) como variável dependente e densidade do solo (Ds), macroporosidade (Macro) e a condutividade hidráulica (Ksat), como variáveis independentes. Para a perda de solo, a variável dependente foi a perda de solo (P. solo) e variáveis independentes a densidade do solo (Ds), macroporosidade (Macro) e a condutividade hidráulica (Ksat). Já para o rendimento de soja, a variável dependente foi o rendimento de grãos de soja (Rend.) e as variáveis independentes perda de água (P. Água), perda de solo (P. solo) e densidade do solo (Ds).

Para a geração dos modelos e gráficos de regressão, foi utilizado o programa estatístico R (R CORE TEAM, 2016). Foi utilizado o método stepwise backward para avaliar qual a variável mais significativa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Estatística descritiva e testes de normalidade

Os valores médios da densidade do solo, condutividade hidráulica do solo saturado, macroporosidade, microporosidade e porosidade total nas camadas amostradas de 0 - 0,1; 0,1 - 0,2 e 0,2 - 0,3 m são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Espaço poroso, densidade do solo (Ds) e condutividade hidráulica do solo saturado (Ksat) da área experimental, nas camadas de 0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m.

DECLIVIDADES	CAMADA (m)	ESPAÇO POROSO (%)			Ksat (mm/h)	Ds (Mg m ⁻³)
		PT	MACRO	MICRO		
D1	0 – 0,1	55,20	19,47	35,73	120,4	1,28
	0,1 – 0,2	57,35	22,01	35,34	3,5	1,31
	0,2 – 0,3	55,42	24,22	31,20	9,8	1,37
	MÉDIA	55,99	21,90	34,09	44,6	1,32
D2	0 – 0,1	57,22	19,33	37,88	31,1	1,22
	0,1 – 0,2	58,23	21,18	37,05	10,8	1,28
	0,2 – 0,3	55,49	18,43	37,05	2,3	1,37
	MÉDIA	56,98	19,65	37,33	14,7	1,29
D3	0 – 0,1	50,45	15,25	35,20	6,1	1,42
	0,1 – 0,2	55,94	21,80	34,14	45,2	1,35
	0,2 – 0,3	58,63	20,29	38,34	5,6	1,27
	MÉDIA	55,01	19,11	35,89	19,0	1,34
D4	0 – 0,1	53,39	17,11	36,28	3,3	1,33
	0,1 – 0,2	55,31	21,23	34,08	44,6	1,37
	0,2 – 0,3	55,58	21,32	34,26	5,9	1,36
	MÉDIA	54,76	19,89	34,87	17,9	1,35

D1: 3,5%; D2: 8,2%; D3: 11,4% e D4: 13,4%;

PT – porosidade total; Macro – macroporosidade; Micro – microporosidade; Ksat – condutividade hidráulica do solo saturado; Ds – densidade do solo.

Os valores de densidade de solo (Ds) encontrados neste trabalho (Tabela 3), estão dentro da faixa de densidade considerada crítica para solos argilosos de 1,30 a 1,40 Mg m⁻³, observados por Reichert, Reinert e Braida (2003). E semelhantes aos encontrados por Argenton et al. (2005) para deficiência de aeração com Ds próxima a

1,30 Mg m⁻³, e Klein (2006) que encontrou densidade limitante de 1,33 Mg m⁻³, baseado no intervalo hídrico ótimo, em especial para desenvolvimento de culturas, ambos em Latossolo Vermelho argiloso.

De maneira geral, todas as declividades apresentam valores de densidade de solo na faixa que requer atenção, o que de acordo com Panachuki et al. (2011) pode resultar na diminuição na taxa de infiltração de água no solo, com consequente aumento das taxas de escoamento superficial, ou seja, podendo interferir na perda de água e solo.

Quanto a macroporosidade os percentuais encontrados estão acima de 10 %, considerada adequada de acordo com Tormena et al. (2002), pois valores inferiores, segundo Brady (1979) e Beutler e Centurion (2003) interferem na demanda respiratória das raízes, no crescimento e atividade de microrganismos, na drenagem e aeração do solo e na absorção de água e nutrientes. Desta forma todos os tratamentos apresentam macroporosidade acima da faixa mínima aceitável e recomendável para o bom desenvolvimento das plantas.

Os valores de ksat apresentaram grande variabilidade, corroborando com os resultados encontrados por Fontana et al. (2016) em Latossolos sob cultivo de soja e Primo et al. (2015) que verificaram que a condutividade hidráulica do solo tende a diminuir com a profundidade.

As perdas de solo e água apresentam alta variabilidade, tornando o conjunto de valores heterogêneo (coeficiente de variação – CV de 133,98% para a perda de solo e de 74,36% para a perda de água) de acordo com Vanni (1998), o CV entre 35 e 65% revela um conjunto de dados heterogêneo e a média tem pouco significado neste caso; se for acima de 65%, o conjunto de dados é muito heterogêneo e a média não tem significado algum, mas se for menor que 35%, o conjunto de dados é homogêneo e a média tem significado podendo ser utilizada como representativa, assim, apenas os resultados do rendimento de grãos da soja são homogêneos (CV = 18,4%) (Tabela 4).

Os valores do CV de perda de solo e água, cujo resultados são maiores 65%, estão de acordo com os observados por Miqueloni, Gianello e Bueno (2015) indicando alta heterogeneidade dessas variáveis na área. Os atributos que apresentaram os maiores CV têm uma grande amplitude entre o valor mínimo e o máximo, demonstrando um quadro bastante variável.

Tabela 4 - Estatística descritiva das perdas de solo e água e rendimento de grãos de soja

ESTATÍSTICA	PERDA SOLO (Mg ha ⁻¹)	PERDA ÁGUA (l ha ⁻¹)	RENDIMENTO
			GRÃOS DE SOJA (Mg ha ⁻¹)
Mín.	2,9 x 10 ⁻⁵	34,57	1,403
Q1	4,1 x 10 ⁻⁴	438,30	1,502
Med.	0,001267	1043,00	1,909
Q2	0,003058	1233,00	1,846
Q3	0,003839	2000,00	2,030
Máx.	0,01962	4074,00	2,514
S	0,0040977	916,59	0,339
CV	133,98	74,36	18,40
Ass.	2,019	0,811	0,211
K	6,9170	3,052	2,352

Mín.- mínimo; Q1-1º quartil; Med - média; Q2 – 2º quartil ou mediana; Máx.- máximo; S - desvio padrão; S² - variância; CV - coeficiente de variação; Ass- Assimetria; K -curtose

Os valores da média e mediana para os atributos estão próximos, mostrando distribuições simétricas. De acordo com Webster (2001), quando os valores da média e mediana são semelhantes, os dados apresentam ou se aproximam de uma distribuição normal. Os valores médios da perda de solo foram menores que os observados por Campos et al. (2008) e Miqueloni, Gianello e Bueno (2015) em Latossolos.

Já em relação à assimetria e curtose, observa-se que os atributos de perda de solo e água não obtiveram valores próximos de zero, indicando não terem uma distribuição normal dos dados, com exceção da assimetria do rendimento de grãos de soja. Segundo Webster (2001), um valor de assimetria até 0,5 indica que determinado atributo apresenta distribuição normal, o que é dispensado na transformação logarítmica para normalização dos dados. Demonstrando que os atributos de perda de solo e água necessitam de alguma transformação para poderem ser avaliados estatisticamente.

A Figura 6 apresenta o gráfico boxplot da perda de solo nas diferentes declividades.

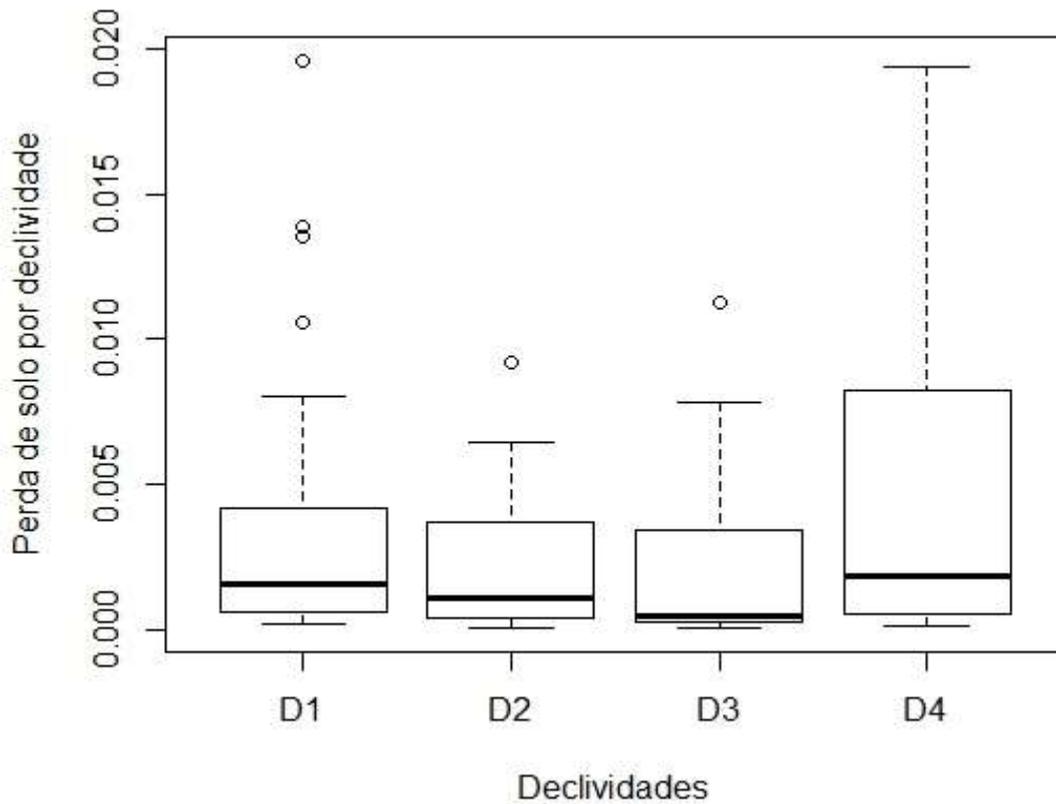


Figura 6 - Boxplot da perda de solo por declividade

Como pode ser analisado, nas declividades D1, D2 e D3, observam-se pontos discrepantes. Quanto à posição da mediana, em todas as declividades, demonstram que os dados são assimétricos, o que também podem ser observados nas Figuras 7 e 8, sobre a perda de água e rendimento de grãos de soja.

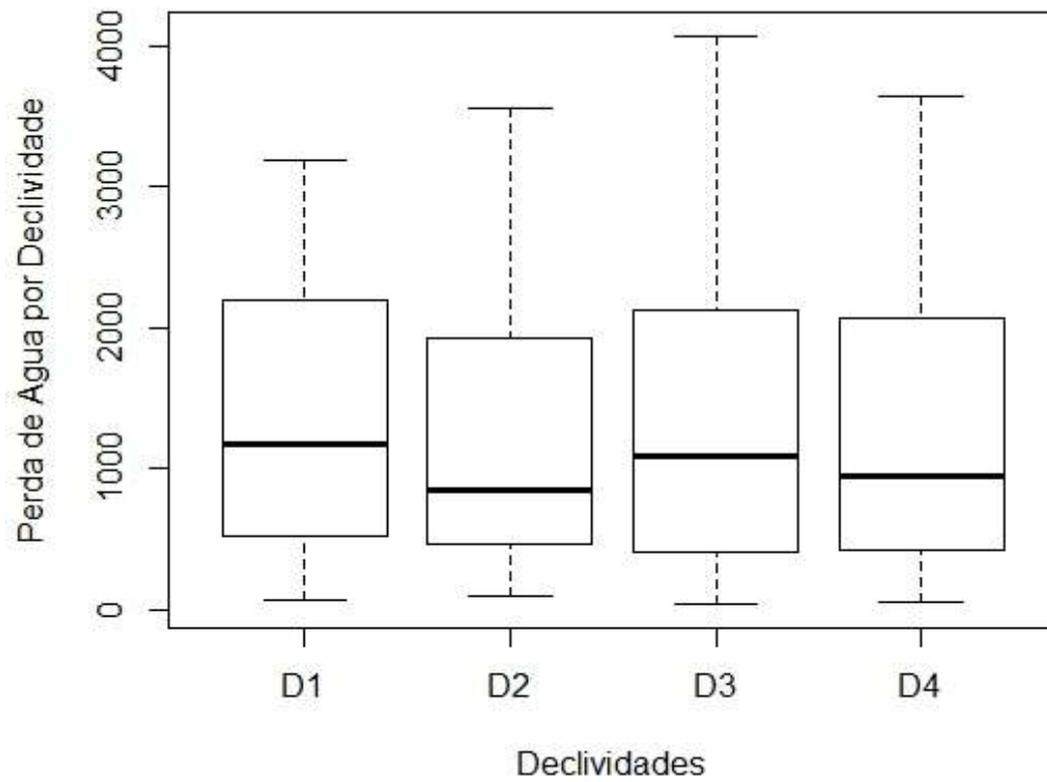


Figura 7 - Boxplot da perda de água por declividade

A Figura 8 apresenta o boxplot da produtividade da soja. Observa-se que há diferença nos níveis médios em razão das declividades e que não há pontos discrepantes.

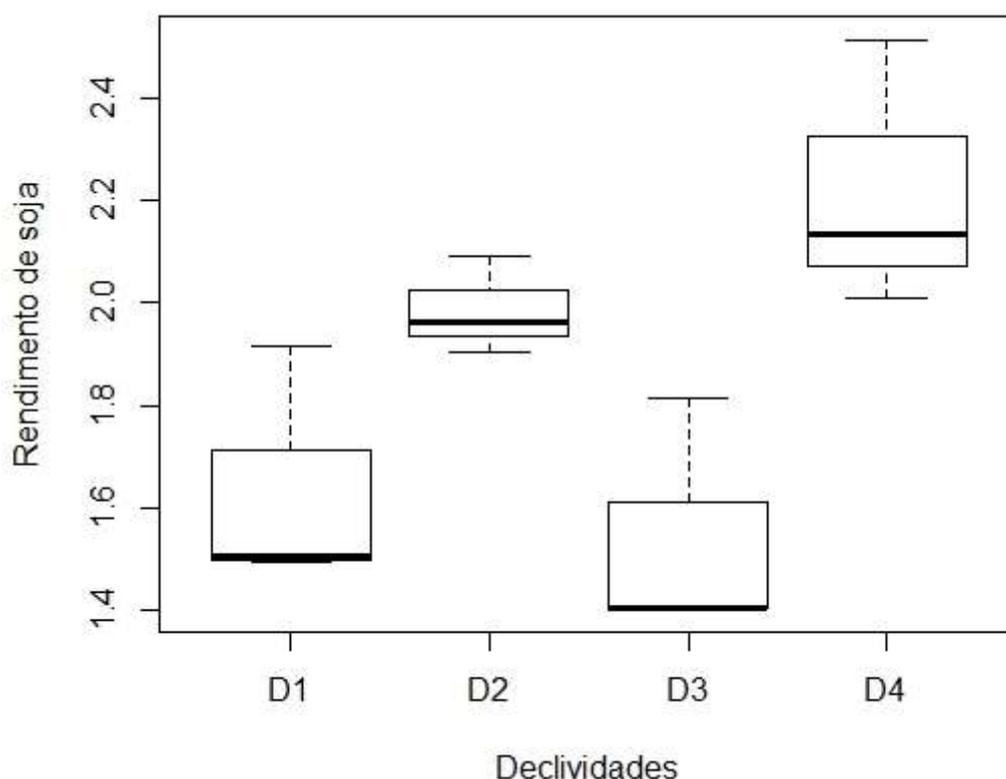


Figura 8 - Boxplot do rendimento de grãos de soja por declividade

A Tabela 5 apresenta os resultados dos testes de normalidade para os dados da perda de solo, perda de água e rendimento de grãos de soja.

Tabela 5 - Testes de normalidade das variáveis

Teste	Perda de Água	Perda de Solo	Rendimento
	P-valor	P-valor	P-valor
Shapiro-Wilk	$4,5 \times 10^{-6}$	$2,097 \times 10^{-13}$	0,6517
Anderson-Darling	$1,7 \times 10^{-6}$	$< 2,2 \times 10^{-16}$	0,3131
Kolmogorov - Smirnov	$1,3 \times 10^{-3}$	$< 2,2 \times 10^{-16}$	0,3845
Cramer-von Mises	$3,3 \times 10^{-5}$	$7,37 \times 10^{-10}$	0,8113

Os resultados dos testes demonstraram que, para as variáveis perda de solo e água os dados não apresentaram normalidade, conforme já havia sido previsto. Deste modo, apenas a variável rendimento de grãos de soja apresentou normalidade de

dados. Por este motivo, doravante os dados de perda de água e de solo foram analisados utilizando transformação logarítmica.

4.2. Perda de Água

Na análise de variância (ANOVA) verificou-se que não houve diferença significativa a 5% de probabilidade entre as declividades na perda de água (Anexo 1 – Tabela 7). De acordo com Leite et al. (2009), na Literatura, os resultados de perdas de água não têm apresentado consistência, apresentando resultados distintos, indiferentes entre sistemas de manejos e métodos de preparos do solo, os autores ainda relatam que a perda de água, pode ser condicionante em relação ao regime de chuva, tipo de solo, topografia e sistemas de manejo (LEITE et al., 2009).

Os valores de perda de água apresentaram-se menores que os observados por Hernani et al. (1997); Cogo, Levien e Schwarz (2003); Silva e De Maria (2011) e Ramos et al. (2015). Mesmo consideravelmente baixa, a perda de água pode ser prejudicial ao ambiente, principalmente ligada à área de uma bacia hidrográfica, já que a enxurrada se constitui no principal veículo de transporte de nutrientes e de sedimentos para os mananciais de água (BERTOL; GONZÁLEZ; VÁZQUEZ, 2007).

As variáveis que mais influenciaram na perda de água foram a densidade do solo (D_s) e a condutividade hidráulica do solo saturado ($ksat$), duas a duas, conforme o Método Stepwise. A equação geral da perda de água ficou estabelecida como:

$$P. \text{ Água} = -102440,1 + 87169,5 D_s - 189,5 ksat \quad (2)$$

$$(R^2 = 97,05 \%)$$

No entanto também foram gerados os gráficos da perda de água em função da D_s e Macro e Macro e $ksat$. A microporosidade não foi considerada, já que tem relação com a Macro.

A Figura 9, apresenta o comportamento da perda de solo em função da D_s , $ksat$ e Macro, duas a duas. Como pode ser observado, o R^2 (coeficiente de determinação) dos modelos (a) e (b) apresentam ajustamento estatístico de 97,05% e 87,54%, respectivamente, sendo de significância alta, em especial o modelo (a), que

apenas 2,95% da variação da perda de água não pode ser explicado pelo modelo apresentado na Equação 1. Já o modelo (c), apresenta médio ajustamento estatístico de 53,55%.

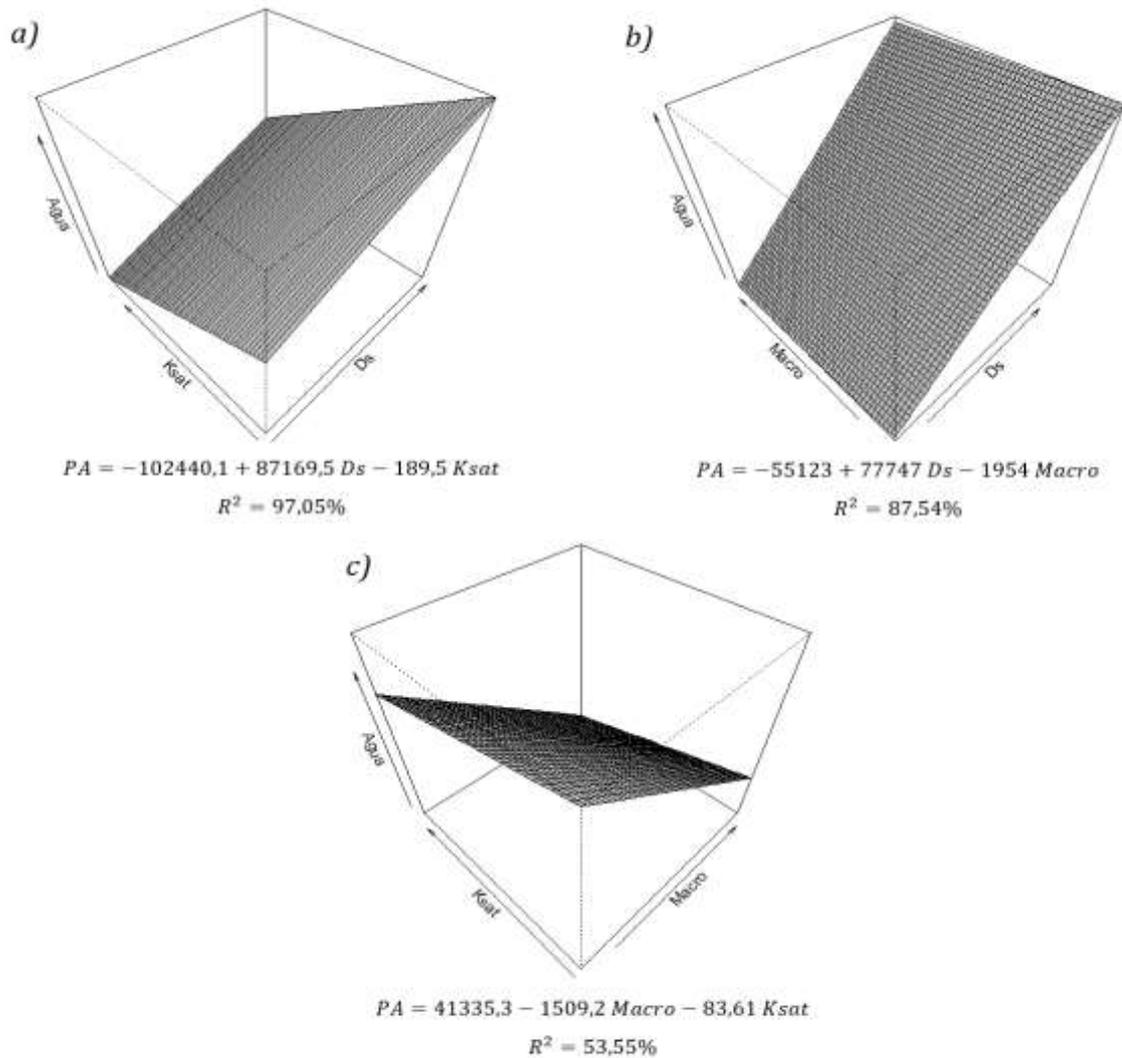


Figura 9 - Gráficos dos modelos para a perda de água em função da densidade do solo (D_s) e macroporosidade (Macro) (a), D_s e condutividade hidráulica do solo saturado (k_{sat}) (b) e Macro e K_{sat} (c).

Verifica-se, na Figura 9 (a), que com o aumento da D_s , e a redução da K_{sat} ocorre conseqüentemente o aumento da perda de água. Já no gráfico (b) que independentemente da Macro, o aumento da densidade de solo (D_s), interfere na perda de água. Assim, maiores valores de densidade geram maiores perdas de água.

Estes resultados corroboram os resultados de Klein (2006) e Minella et al. (2007). E no gráfico (c), verifica-se que com a redução da Macro e da ksat ocorre aumento na perda de água.

4.3. Perda de Solo

Não houve diferença significativa na perda de solo nas diferentes declividades (Anexo 1 – Tabela 8). Os resultados demonstram maior perda de solo total na declividade 4, mas ainda inferiores ao observado por Silva et al. (2009), que em um Latossolo Vermelho Distroférico típico, sem cobertura, com declive de 12% e também com Marques, Weill e Silva (2010), em SPD, registraram perdas de 206 kg ha⁻¹. Já Cândido et al. (2014), encontraram valores menores em plantio em desnível com resíduo cultural.

Neste experimento não foram coletados dados de todas as chuvas do ano, apenas durante o ciclo da soja. Considerando que a média diária de perda de solo, em dias de chuva foi de 0,001267 Mg ha⁻¹ (Tabela 4), e considerando ainda o total de perda de solo durante o ciclo da soja, observou-se uma perda total de 0,355 Mg ha⁻¹ em 112 dias. Esses valores são inferiores ao observado por Derpsch et al. (1991) que encontram perdas médias de solo em plantio direto no estado do Paraná de 6,9 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Assim também inferiores se comparadas à FAO (1967) que constataram perdas para solos profundos, permeáveis e bem drenados de ordem de 12,5 t ha⁻¹ ano⁻¹, e para solos rasos ou impermeáveis de ordem de 2 a 4 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ e para outros solos, admite perdas intermediárias.

Hernani et al. (1997), verificaram perdas anuais de solo em SPD em um Latossolo Roxo de Dourados (MS) durante 7 anos, superiores ao encontrado nesse trabalho. Assim como Bertol et al. (2001), que também encontraram valores superiores de perda de solo (1,2 Mg ha⁻¹), em semeadura direta, mas ainda inferiores a outros sistemas de preparos.

Outros pesquisadores têm obtido valores superiores em comparação ao presente trabalho. Pode-se citar Lanzasova et al. (2013), que encontraram perdas de solo variando de 0,63 a 1,32 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, tendo o plantio direto apresentado as

menores perdas de solo, corroborando com os estudos de Panachuki et al. (2011), que trabalharam com perdas em Latossolo Vermelho Aluminoférrico típico.

Diante do exposto, observa-se que, possivelmente este valor baixo de perda de solo reflita a alta qualidade do solo deste experimento, e que a perda de solo possa estar ocorrendo devido a outros fatores, como por exemplo, os associados ao clima.

Amado, Prochnow e Eltz (2002), analisaram a influência de anomalias climáticas como o El Niño e La Niña, na perda de solo e água e verificaram que as perdas foram mais pronunciadas nos anos de ocorrência do El Niño. Os autores indicam que as frequentes e intensas chuvas durante o fenômeno requerem medidas especiais de controle da erosão e o SPD apresenta importante alternativa de convivência com esta anomalia climática. Tais informações corroboram os dados desse trabalho, já que mesmo em ano de El Niño, como foi o período de 2015/2016, as perdas de solo foram menores que as encontradas na literatura, muito em virtude do sistema de manejo empregado.

Assim como para a perda de água, a perda de solo é mais influenciada pela densidade do solo conjunta com a condutividade hidráulica do solo saturado. A equação que apresenta a perda de solo em função dessas variáveis é apresentada na Equação 3.

$$P. \text{ Solo} = -0,395 + 0,326 D_s - 0,00068 K_{sat} \quad (3)$$

$$(R^2 = 69,56 \%)$$

Da mesma forma que na perda de água, optou-se por apresentar também o comportamento da perda de solo em função da densidade do solo, da macroporosidade e da condutividade hidráulica do solo saturado. A microporosidade não foi considerada, uma vez que está relacionada com a macroporosidade.

Na Figura 10, os gráficos (a), (b) e (c) apresentam as correlações entre as variáveis perda de solo, densidade do solo, macroporosidade e condutividade hidráulica. Quanto aos ajustamentos estatísticos, os modelos (a) e (b) apresentam valores medianos de coeficiente de determinação de 69,56% e 65,20%. Já o gráfico (c) apresenta valor baixo de ajustamento estatístico de 39,38%, ou seja, 60,62% da variação da perda de solo não pode ser explicada pelo modelo do gráfico.

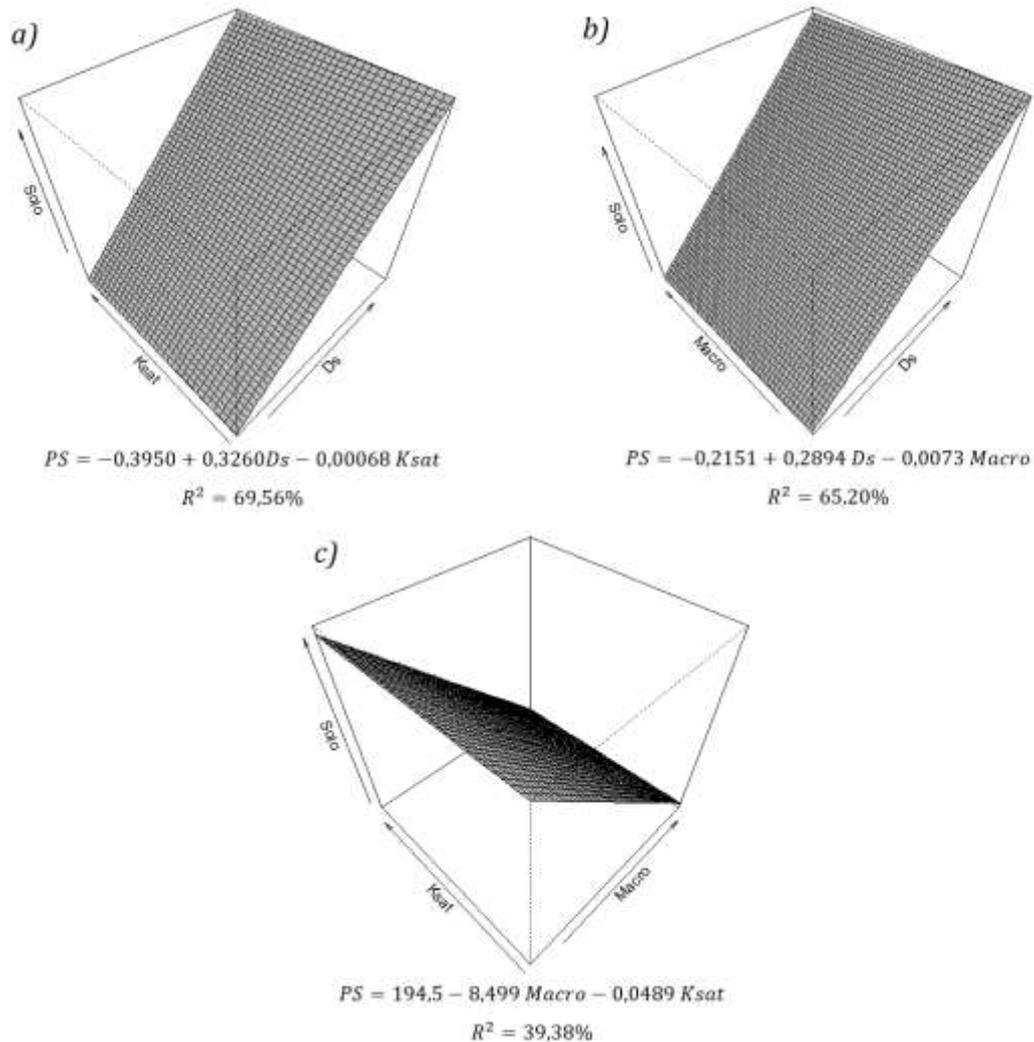


Figura 10 - Gráficos dos modelos para a perda de solo em função da densidade do solo (D_s) e macroporosidade (Macro) (a), D_s e condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat}) (b) e Macro e K_{sat} (c).

Como observado na Figura 9, nos gráficos (a), (b) e (c), demonstram que a perda de água e solo pode estar relacionada a D_s , Macro e K_{sat} . Em ambos os gráficos (a) e (b), observa-se que independente do valor da K_{sat} e da macroporosidade, a perda de solo é mais influenciada pela densidade do solo. Quanto maior for o valor da densidade, maior a perda de solo devido ao escoamento superficial. Estes resultados são corroborados por Mehl (2000), Klein (2006); Santos, Griebeler e Oliveira (2010) e Panachuk et al. (2011).

4.5. Rendimento de grãos de soja

A tabela 6 apresenta os resultados do rendimento de grãos de soja.

Tabela 6 - Teste de Tukey do rendimento de grãos de soja

Declividade	Média	Resultado do Teste
D3	1,540560	a
D1	1,638283	a
D2	1,985040	a b (ab)
D4	2,219293	b

Médias de tratamentos seguidas por letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.

As médias do rendimento de grãos da soja foi superior no tratamento D4, embora não tenha diferido do tratamento D2. Esse resultado foi inferior ao resultado encontrado por Hernani et al. (1997), no período de 1987 a 1994, em SPD, na cultura de soja e trigo em sucessão. Os autores salientam que as produtividades de grãos são suscetíveis a eventos climáticos, como estiagens prolongadas e pluviosidade média mensal (HERNANI et al., 1997).

Os resultados encontrados corroboram os resultados de Alberto et al., (2006), que em anos de El Niño encontraram valores de rendimento de soja que variaram de 4,86 Mg ha⁻¹ a 1,1 Mg ha⁻¹, sendo reflexo da variabilidade na distribuição de chuvas em anos com eventos climáticos.

No Paraná, segundo dados da Conab (2016), a produtividade média de grãos de soja por hectare foi de 3.141 kg ha⁻¹ (ou 3,141 Mg ha⁻¹) na safra 2015/2016, resultados superiores aos encontrados nesse trabalho. No Paraná, o clima durante a safra 2015/2016 apresentou comportamento variável, mantendo a instabilidade atmosférica sobre todo o estado, afetando as lavouras de soja, em que muitas plantas apresentaram as raízes superficiais, resultado do excesso de chuva e falta de luminosidade (CONAB, 2016). No total geral, a produção da safra 2015/16, estimada em 95,4 milhões de toneladas, foi inferior em 0,8% à safra 2014/15.

Para levar em consideração apenas o efeito das 5 variáveis em estudo, perda de solo (P.Solo), perda de água (P.Água), densidade do solo (Ds), macroporosidade (Macro) e condutividade hidráulica (Ksat), os dados de rendimento foram corrigidos para um número médio de plantas por hectare, uma vez que houve ataque de lagarta em algumas das unidades experimentais.

Conforme a Figura 11, as variáveis estudadas, que melhor explicam conjuntamente o rendimento de grãos da soja são a perda de água e perda de solo. A Equação 4 apresenta o comportamento do rendimento em função destas variáveis.

$$Rend. = 2769 + 4797 P. Solo - 0,06412 P. Água \quad (4)$$

$$(R^2 = 66,78 \%)$$

Considerando que a perda de solo foi relativamente baixa, de acordo com o encontrado na literatura, observa-se que, embora seu efeito positivo no rendimento, destaca-se que o esse efeito possa ter ocorrido meramente ao acaso.

Na Figura 11, apresenta os gráficos referentes a análise das variáveis, sendo a variável rendimento (Rend.) como variável dependente e a perda de solo (P. Solo), perda de água (P. Agua) e densidade do solo (Ds), como variáveis independentes. Nas Figuras (a), (b) e (c), apresentam as correlações entre as variáveis.

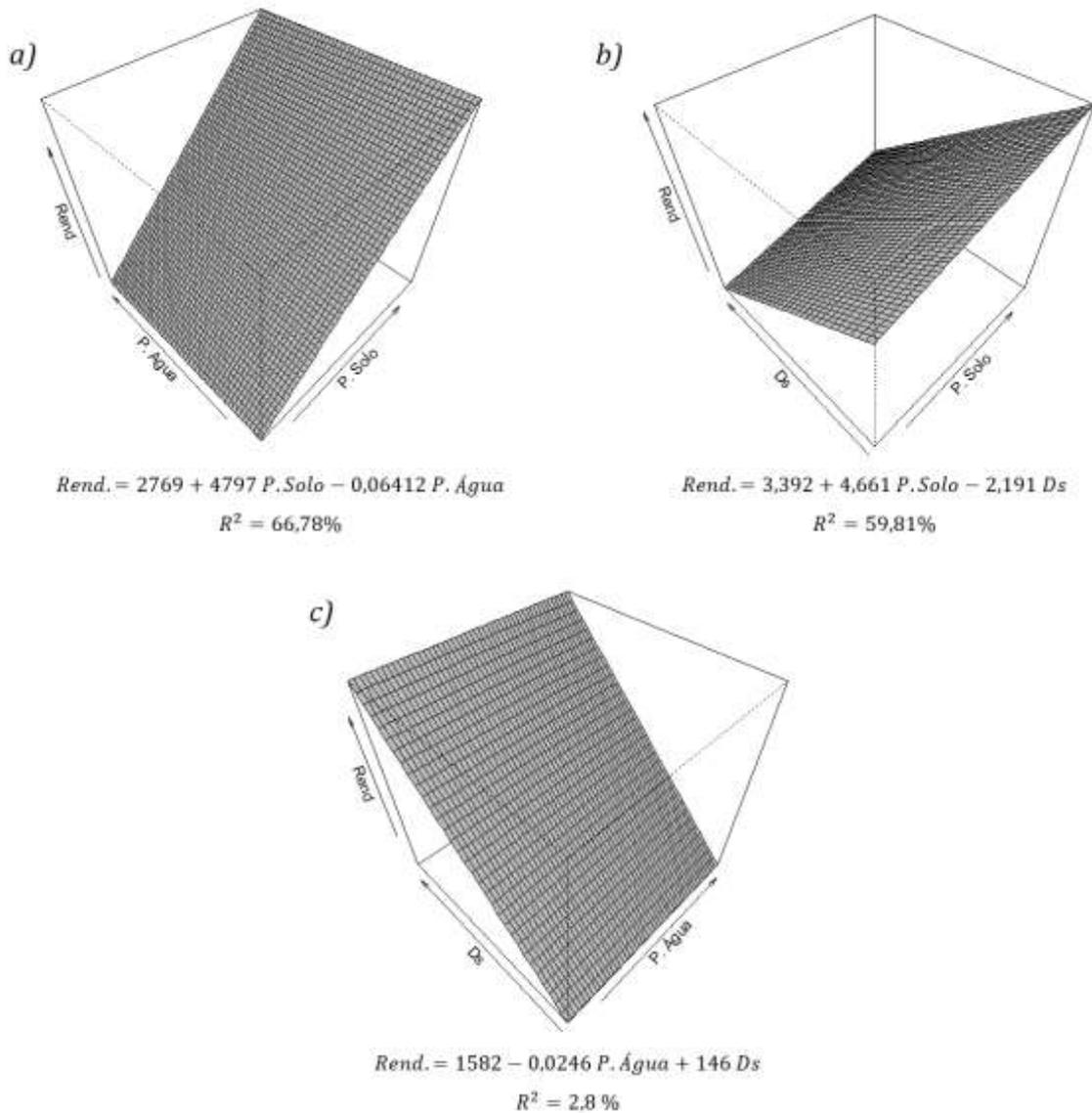


Figura 11 - Gráficos dos modelos para o rendimento em função da perda de solo (P. solo) e perda de água (P. Água) (a), P. solo e densidade de solo (Ds) (b) e P. água e Ds (c).

Como pode ser observado, o R^2 dos modelos (a) e (b) apresentam ajustamento estatístico de 66,78% e 59,81%, respectivamente, sendo de significância média, já o gráfico (c), apresenta baixo ajustamento estatístico de 2,8%, ou seja, 97,2% da variação do rendimento não pode ser explicado pelo modelo do gráfico (c).

Os valores de rendimento de grãos de soja mostraram mediana correlação com as perdas de solo e água e densidade do solo. Na Figura 11 (a), observa-se que

independentemente do valor da perda de água, o aumento da perda de solo, resulta em maior rendimento da cultura. Já na Figura 11 (b), verifica-se que com a redução da densidade do solo, há aumento na perda de solo e no rendimento da cultura. Na Figura 11 (c), observa-se que, independente do valor da perda da água, há um pequeno aumento da densidade do solo, resultando em maior rendimento. Isso pode ser explicado pelo fato de favorecer a ascensão capilar de água pelo maior volume de microporos quando ocorre um baixo aumento da densidade do solo, suprindo de maneira mais eficiente as demandas evapotranspirativas das plantas.

Tais modelos podem demonstrar que como a cultura não sofreu qualquer estiagem durante seu ciclo, tendo disponibilidade de água, as outras variáveis não interferiram na produtividade. Uma explicação pode ser que no período de 2015/2016 o solo teve água disponível, devido à alta pluviosidade que atingiu a região oeste do Estado do Paraná, o que com base numa série de estudos, Den Biggelaar et al. (2001) determinaram que o declínio do rendimento em anos secos é mais significativo do que em anos com chuvas abundantes.

Vários fatores podem afetar o rendimento das culturas como resultado da interação dos efeitos da perda do solo superficial (BRUNEL et al., 2011). Oyedele e Aina (2006) concluíram que os impactos primários da remoção do solo afetam significativamente as propriedades físicas do solo e o teor de matéria orgânica do que outras propriedades químicas.

Além disso, a perda da camada superficial do solo é seguida por um aumento da densidade do solo, deterioração estrutural e alteração da porosidade total com vários efeitos supressores sobre o rendimento da cultura (MALHI et al., 1994).

Os sistemas conservacionistas têm claros benefícios para a produtividade de culturas, devido tanto à proteção da cobertura de palha e a melhoria das condições estruturais do solo, tendendo a favorecer a capacidade de armazenamento de água no perfil do solo, reduzindo assim a perda de solo.

5. CONCLUSÕES

1. Os padrões de declividade de 3,5%, 8,2%, 11,4% e 13,4% não influenciaram, de forma significativa, as taxas de perda de solo e água.
2. A produtividade de soja apresentou maiores valores nas declividades de 8,2 e 13,4%.
3. A perda de solo e água apresentam maior correlação com a macroporosidade e a densidade de solo em conjunto. O rendimento de grãos de soja apresenta maior correlação linear com a perda de água e de solo.
4. As baixas perdas de água e solo demonstram a capacidade do solo, manejado sob sistema plantio direto, de minimizar impactos ambientais.

6. REFERÊNCIAS

- ALBERTO, C. M.; MEDEIROS, S. L. P.; STRECK, N. A.; HELDWEIN, A. B.; BURIOL, G. A.; MEDEIROS, S. L. P. Água no solo e rendimento do trigo, soja e milho associados ao El Niño Oscilação Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 1067-1075, 2006.
- ALBUQUERQUE, A. W. de; M. FILHO, G.; SANTOS, J. R.; COSTA, J. P. V.; SOUZA, J. L. Determinação de fatores da equação universal de perda de solo em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande-PB v.9, p.153-160, 2005.
- ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A. C. T.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; CARVALHO, D. F. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 7, n. 2, p. 191-196, 2003.
- AMADO, T. J. C.; PROCHNOW, D.; ELTZ, F. L. F. Perdas de solo e água em períodos de anomalias climáticas: "El Niño" e "La Niña" no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 819-827, set. 2002 .
- AMARAL, A. J. Fator cobertura e manejo da Equação Universal de Perda de Solo para soja e trigo em um Cambissolo Húmico Alúminico submetido a diferentes sistemas de manejo. 2006. 112 f. **Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo)** – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages-SC, 2006.
- AMARAL, A. J. do; BERTOL, I.; COGO, N. P.; BARBOSA, F. T. Redução da erosão hídrica em três sistemas de manejo do solo em um Cambissolo Húmico da região do Planalto Sul-Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 2145-2155, out. 2008.
- ARGENTON J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29 p. 425-435, 2005.
- ARNOLD J. G.; ALLEN, P.M. Estimating hydrologic budgets for three Illinois watersheds. **Journal of Hydrology**, v.176, p.57-77, 1996.
- BERGAMIN, A. C.; VITORINO, A. C. T.; SOUZA, F. R.; VENTUROSOS, L. R., BERGAMIN, L. P. P; CAMPOS, M. Relationship of soil physical quality parameters and maize yield in a Brazilian Oxisol. **Chilean Journal of Agricultural Research**, Chillán, v. 75, n. 3, p. 357-365, set. 2015.
- BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, v. 58, p.555-560, 2001.

BERTOL, I.; GONZÁLEZ, A. P.; VÁZQUEZ, E. V. Rugosidade superficial do solo sob diferentes doses de resíduo de milho submetido à chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 42 p. 103-110, 2007.

BERTOL, I.; BARBOSA, F. T.; MAFRA, Á. L.; FLORES, M. C. Soil water erosion under different cultivation systems and different fertilization rates and forms over 10 years. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 6, p. 1918-1928, dez. 2014.

BERTOL, I.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, C.; LUCIANO, R. V. Water Infiltration in two cultivated soils in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 2, p. 573-588, abr. 2015.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 3.ed. São Paulo, Ícone, 1990. 355 p.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** Brasília, v. 38, n. 7, p. 849-856, jul. 2003.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 581-588, 2004.

BONINI, A. K.; SECCO, D.; SANTOS, R. F., REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Atributos físico-hídricos e produtividade de trigo em um Latossolo sob estados de compactação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 9, p. 1543-1548, set. 2011.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 5. ed. São Paulo: F. Bastos, 1979. 647 p.

BRITO, L. T. L.; CAVALCANTI, N. B.; ANJOS, J. B. dos; SILVA, A. S., PEREIRA, L. A. Perdas de solo e de água em sistemas de captação in situ no Semi-Árido brasileiro. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 507-515, Set. 2008.

BRONICK C. J.; LAL R. **Soil structure and management**: Areview. *Geoderma*, 124: 3-22, 2005.

BRUNEL, N; MEZA, F; ROS, R.; SANTIBANEZ, F. Effects of topsoil loss on wheat productivity in dryland zones of Chile. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Temuco, v. 11, n. 4, p. 129-137, 2011.

CAMPOS, M. C. C., MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; PEREIRA, G.T.; SOUZA, Z. M.; BARBIERI, D. M. Variação espacial de perda de solo por erosão em diferentes superfícies geomórficas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2485-2492, 2008.

CÂNDIDO, B. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; BATISTA, P. V. G. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na bacia do rio Paraná, no leste do Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 1565-1575, 2014.

CARDOSO, D. P.; SILVA, M. L. N.; CARVALHO, G. J. de; FREITAS, D. A. F. de; AVANZI JUNIOR C. Plantas de cobertura no controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 6, p. 632-638, jun. 2012.

CARVALHO, D. F.; SOUZA, W. de J.; PINTO, M. F.; OLIVEIRA, J. R. de; GUERRA, J. G. M. Perdas de água e solo sob diferentes padrões de chuva simulada e condições de cobertura do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 708-717, ago. 2012.

CARVALHO, D. F.; DURIGON, V. L.; ANTUNES, M. A. H.; ALMEIDA, W. S.; OLIVEIRA, P. T. S. Predicting soil erosion using Rusle and NDVI time series from TM Landsat 5. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 3, p. 215-224, mar. 2014.

CASTRO FILHO, C.; CATANEO, A.; BISCAIA, R.C.M. Utilização da metodologia de Wilkinson para o cálculo do potencial erosivo das chuvas em cinco localidades do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.6, n.3, p.240-241, 1982.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 743-753, ago. 2003.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Safra 2014/15**, décimo primeiro levantamento. Brasília: Conab, 86 p jan. 2015.

CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos** v. 4- Safra 2015/16 - Quarto levantamento, Brasília, p. 1-154, jan. 2016.

CONTIERO, R. L.; FRANCISCHINI, A. C.; SANTOS, G.; ITA, A. G.; RUVEN, A.; BUCKER, E. G. Deposição efetiva do produto pulverizado sobre cobertura vegetal de aveia-preta por diferentes pontas de pulverização. **Planta daninha**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 891-897, dez. 2012.

COSTA, T. T. C.; UZEDA, M.; FIDALGO E. C. C.; LUMBRERAS, J. F.; ZARONI, M. GUIMARÃES, S. P. Vulnerabilidade ambiental em sub-bacias hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro por meio de integração temática da perda de solo (USLE), variáveis morfométricas e o uso/cobertura da terra. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 INPE, P 2493-2500, abr. 2007.

COSTA, M. S. S. M.; PIVETTA, L. A.; COSTA, L. A. de M.; PIVETTA, L. G., CASTOLDI, G.; STEINER, F. Atributos físicos do solo e produtividade do milho sob sistemas de manejo e adubações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 8, p. 810-815, ago. 2011.

DANTAS, K. P.; MONTEIRO, M. S. L. Valoração econômica dos efeitos internos da erosão: impactos da produção de soja no cerrado piauiense. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 48, n. 4, p. 619-633, dez. 2010.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A.; SATTLER, A.; MANHAGO, D. D. "Vertical mulching" como prática conservacionista para manejo de enxurrada em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.2847-2852, 2008.

DEN BIGGELAAR, C., LAL, R., WIEBE, K., BRENNEMAN, V. Impact of soil erosion on crop yields in North America. **Advances in Agronomy**, v. 72, p. 1-52, 2001.

DERPSCH, R., ROTH, C. H., SIDIRAS, N., KÖPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Schborn: GTZ/Londrina: IAPAR, 1991.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2^o ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, p. 212, 1997.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de produção de soja região central do Brasil 2011**. - Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Agropecuária Oeste, 2010.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Brasil, 3. ed., 2013.

ENGEL, F. L.; BERTOL, I.; MAFRA, Á. L.; COGO, N. P. Water erosion under simulated rainfall in different soil management systems during soybean growth. **Scientia Agricola**, v.64, p.187-193, 2007.

ESCOBAR, J. F.; COELHO, S. T. Situação da biomassa lignocelulósica no Brasil: Perspectivas para o uso dos pellets de madeira nos setores energo-intensivos. **Jornal Brasileiro das Indústrias de Biomassa BR**. Ano II Edição:11. Novembro/dezembro 2013.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **La erosion del suelo por el agua**: Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. Roma: Organization de Las Naciones Unidas, 207 p., 1967.

FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. OCDE-FAO PERSPECTIVAS AGRÍCOLAS 2015-2024. In: Capítulo 2. **Agricultura Brasileira: Perspectivas e Desafios** - OCDEFAO 2015. Disponível em: www.agri-outlook.org. Acesso em: Jan/2017.

FARINASSO, M.; CARVALHO JR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, T. A. T.; RAMOS, V. M. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas

por meio da EUPS – Equação Universal de Perdas de Solos utilizando novas tecnologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba – PI-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia** – Ano 7, nº 2, p. 57-69, 2006.

FOLONI, J. S. S.; LIMA, S. L.; BULL, L. T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 49-57, 2006.

FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G.; BALIEIRO, F. C.; MOURA, T. P. A.; MENEZES, A. R.; SANTANA, C. I. Características e atributos de Latossolos sob diferentes usos na região Oeste do Estado da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1457-1465, set. 2016.

GAERTNER, C.; DEDECEK, R. A.; BISCAIA, R. M. Produtividade de trigo e soja em Latossolo Vermelho distrófico sob erosão simulada e causada pela chuva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 12, p. 1443-1449, dez. 2003.

GAERTNER, C.; DEDECEK, R. A.; BISCAIA, R. M. Produtividade do trigo e da soja em Latossolo Vermelho distrófico com diferentes níveis de erosão hídrica. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 7, n. 1-2, p. 27-34, 2006.

GAZZONI, D. L. **O impacto do uso da terra na sustentabilidade dos biocombustíveis**. Londrina: Embrapa Soja, 80 p., 2014.

GHIDIN, A. A.; MELO, V. F.; LIMA, V. C.; LIMA, J. M. J. C. Topossequências de Latossolos originados de rochas basálticas no Paraná. I - Mineralogia da fração argila. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 1-16, 2006.

GILLES, L.; COGO, N. P.; BISSANI, C. A.; BAGATINI, T.; PORTELA, J. C. Perdas de água, solo, matéria orgânica e nutriente por erosão hídrica na cultura do milho implantada em área de campo nativo, influenciadas por métodos de preparo do solo e tipos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.1427-1440, 2009.

GUADAGNIN, J. C.; BERTOL, I.; CASSOL, P. C.; AMARAL, A. J. Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 277-286, 2005.

GUIMARÃES, R. Z.; LIGNAU, C.; RIZZI, N. R.; SCHECHI, R. G.; BIANCHI, R. C. Espacialização da perda de solo por erosão laminar na microbacia do Rio Campinas, Joinville SC. **RA'E GA: o Espaço Geográfico em Análise**, v. 23, p. 32-64, 2011.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro** [recurso eletrônico]. Londrina: Embrapa Soja, 2014.

HERNANI, L. C.; SALTON, J. C.; FABRÍCIO, A. C.; DEDECEK, R.; ALVES JÚNIOR, M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo roxo de Dourados (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 4, p. 667-676, 1997.

HERNANI, L. C. **Sistemas de manejo de solo, perdas por erosão hídrica e rendimento de grãos de soja e de trigo: resultados do período 1987-1997.** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 52 p, 1999.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística **Levantamento sistemático da produção agrícola:** Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. V. 26, p. 1-84, 2013.

IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Anuário Estatístico do Estado do Paraná, 2012.** Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/perfil_municipal/MontaPerfil.php?codlocal=171&btOk=ok> Acesso em: 01 nov. 2015.

KER, J. C. Latossolos do Brasil: Uma Revisão. **Geonomos**, BELO HORIZONTE - MG, v. 5, n.1, p. 17-40, 1997.

KLEIN, V. A.; BOLLER, W. Avaliação de diferentes manejos de solo e métodos de semeadura em áreas sob sistema de plantio direto. **Ciência Rural**, v. 25, p.395-398, 1995.

KLEIN, V. A. Densidade relativa - Um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 5, p.26-32, 2006.

KRAJEWSKI, L. J.; RITZMAN, L. P.; MALHOTRA, M. **Administração da produção e operações.** 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

LANZANOVA, M. E.; ELTZ, F. L. F.; NICOLOSO, R. S.; CASSOL, E. A.; BERTOL, I.; AMADO, T. J.C.; GIRARDELLO, V. C. Residual effect of soil tillage on water erosion from a Typic Paleudalf under long-term no-tillage and cropping systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1689-1698, 2013.

LEÃO, M. G. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial da textura de um latossolo sob cultivo de citros. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, p.121-131, 2010.

LEITE, M. H. S.; COUTO, E. G.; AMORIM, R. S. S.; COSTA, E. L.; MARASCHIN, L. Perdas de solo e nutrientes num Latossolo vermelho-amarelo ácrico típico, com diferentes sistemas de preparo e sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 689-699, 2009.

LIMA, V. C.; LIMA, M. R.; MELO, V.de F. **Conhecendo os principais solos do Paraná:** abordagem para professores do ensino fundamental e médio / V. – Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo / Núcleo Estadual do Paraná, v.1, 18 p., 2012.

MACHADO, R. E.; VETORAZZI, C. A.; XAVIER, A. C. Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n.4, p.727-733, 2003.

MACHADO, A. M. M.; FAVARETTO, N. Atributos físicos do solo relacionados ao manejo e conservação dos solos. In: LIMA, M. R. et al. **Diagnóstico e recomendações de manejo do solo: aspectos teóricos e metodológicos**. Curitiba: UFPR/ Setor de Ciências Agrárias, 2006. p. 234-254.

MALHI, S., IZAURRALDE, R., NYBORG, M., SOLBERG, E. Influence of topsoil removal on soil fertility and barley growth. **Journal Soil and Water Conservation**, v. 49, p. 96-101, 1994.

MARQUES, J. F.; PAZZIANOTTO, C. B. Custos econômicos da erosão do solo: estimativa pelo método de reposição de nutrientes – Simulação do custo econômico da erosão. In: Embrapa, **Comunicado Técnico 23**, Jaguariúna – SP, 2004.

MARQUES, S. R.; WEILL, M. A. M.; SILVA, L. F. S. Qualidade física de um latossolo vermelho, perdas por erosão e desenvolvimento do milho em dois sistemas de manejo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 967-974, ago. 2010.

MARTINS FILHO, M. V.; PEREIRA, V. P.; MARQUES JÚNIOR, J. Efeitos da densidade do solo na erosão de um Latossolo Vermelho devido ao tráfego. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 21, p. 23-31, 2001.

MEHL HU. Caracterização de padrões de chuva ocorrentes em Santa Maria (RS) e sua relação com as perdas de solo e água em entressulcos, 2000. **Dissertação de Mestrado**, Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; 2000.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S.O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, v. 34, n. 3, p.963-969, 2004.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; REICHERT, J. M.; SANTOS, D. R. Identificação e implicações para a conservação do solo das fontes de sedimentos em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p.1637-1646, 2007.

MIQUELONI, D. P.; BUENO, C. R. P.; FERRAUDO, A. S. Análise espacial dos fatores da equação universal de perda de solo em área de nascentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 9, p.1358-1367, set. 2012.

MIQUELONI, D. P.; GIANELLO, E. M.; BUENO, C. R. P. Variabilidade espacial de atributos e perda de solo na definição de zonas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v. 45, n. 1, p. 18-28, jan./mar. 2015.

MOLINE, E. F. V.; FARIAS, E. A. P.; BRASILINO, M. F.; BARBOZA, E.; SCHLINDWEIN, J. A. Redução das Perdas de Água e Solo em Função do Volume de Palhada na Superfície de um Solo em Rondônia. **Global Science and Technology**, v. 4, p. 1-9, 2011.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. **Introduction to Linear Regression Analysis**. 3. ed. [S.l.]: Wiley-Interscience, p. 641, 2001.

OLIVEIRA, J. R.; PINTO, M. F.; SOUZA, W. J.; GUERRA, J. G. M.; CARVALHO, D. F. Erosão hídrica em um argissolo vermelho-amarelo, sob diferentes padrões de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, p. 140-147, 2010.

OLIVEIRA, J. G. R.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F.; BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J. Erosão no plantio direto: perda de solo, água e nutrientes. **Boletim de Geografia (Online)**, v. 30, p. 91-98, 2012.

OYEDELE, D. J.; AINA, P. O. Response of soil properties and maize yield to simulated erosion by artificial topsoil removal. **Plant and Soil**. v. 284, p. 375-384, 2006.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; SOUZA, C. M. A.; URCHEI, M. A. Rugosidade da superfície do solo sob diferentes sistemas de manejo e influenciada por chuva artificial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 443-452, 2010.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D. B. B. Soil and water loss and water infiltration in red latosol under different management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1777-1786, out. 2011.

PACHECO, L. P.; MIGUEL, A. S. D. C.; BONFIM-SILVA, E. M.; SOUZA, E. D.; SILVA, F. D.; Influência da densidade do solo em atributos da parte aérea e sistema radicular de crotalária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 4, p. 464-472, dez. 2015.

POTT, C. A.; DE MARIA, I. C. Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p.19-27, 2003.

PRIMO, J. T. A.; SILVA, T. G. F.; SILVA, S. M. S.; MOURA, M. S. B.; SOUZA, L. S.B. Calibração de sondas capacitivas, funções físico-hídricas e variação do armazenamento de água em um argissolo cultivado com palma forrageira. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n. 1, p. 20-29, fev. 2015.

PRUSKI, F. F.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, D. D. Modelo hidrológico para estimativa do escoamento superficial em áreas agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 301-307, mai. 2001.

R CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>, 2016.

RAMOS, M. R.; FAVARETTO, N.; UHLMANN, A.; DIECKOW, J.; VEZZANI, F. M.; ALMEIDA, L. Produção de hortaliças no sistema orgânico: efeito nos atributos físicos do solo. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 58, p. 45-51, 2015.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 188p., 1990.

REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; CABEDA, M. S. V. Selamento superficial e infiltração de água em solo do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p.289-298, 1992.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência Ambiental**, v. 27, p. 29-48, 2003.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agrários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos Ciência do Solo**, v. 5, p. 49-134, 2007.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Universidade Federal de Santa Maria, 18 p., 2006.

REIS, I. M. S.; MELO, W. J.; MARQUES JÚNIOR, J.; FERRAUDO, A. S.; MELO, G. M. P. Adsorção de cádmio em Latossolos sob vegetação de mata nativa e cultivados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 1960-1969, 2014.

RIEGER, F. A.; ZOLIN, C. A.; PAULINO, J.; SOUZA, A. P.; MATOS, E. S.; MAGALHÃES, C. A. S. Water Erosion on an Oxisol under Integrated Crop-Forest Systems in a Transitional Area between the Amazon and Cerrado Biomes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, 2016.

RUFINO R. L. Avaliação do potencial erosivo da chuva para o estado do Paraná: Segunda aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10 p. 279-81,1986.

RUFINO, R. L.; BISCAIA, R. C. M.; MERTEN, G. H. Determinação do potencial erosivo da chuva do estado do Paraná através da pluviometria: Terceira aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, p. 439-44, 1993.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. de. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, p. 115-123, fev. 2010.

SANTOS, H. L.; MARQUES JÚNIOR, J.; MATIAS, S. S. R.; SIQUEIRA, D. S.; MARTINS FILHO, M. V. Erosion factors and magnetic susceptibility in differet compartments of a slope in Gilbués-PI, Brazil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 1, p. 64-74, fev. 2013.

SANTOS, F. M.; LOLLO, J. A. Cartografia digital para estimativa de escoamento superficial visando ao planejamento urbano. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro, v. 21, n. 4, p. 663-675, dez. 2016.

SCAPINELLI, A.; DEINA, F. R.; VALADÃO JUNIOR, D. D.; VALADÃO, F. C. A.; PEREIRA, L. B. Sistema radicular e componentes produtivos do girassol em solo compactado. **Bragantia**, Campinas, v. 75, n. 4, p. 474-486, dez. 2016.

SCHAEFER, C. E. G. R.; FABRIS, J.D.; KER, J.C. Minerals in the clay fraction of Brazilian Latosols (Oxisols): a review. **Clay Minerals**, v. 43, p.137-154, 2008.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT Jr., A. A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 427-436, 2000.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; DA ROS, C. O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 797-804, 2004.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JÚNIOR, M. S.; OLIVEIRA, L. F. C.; CASTRO, M. B. de. Pressão de preconsolidação e intervalo hídrico ótimo como indicadores de alterações estruturais de um latossolo e de um cambissolo sob cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1419-1427, ago. 2008.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Susceptibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 4, p. 239-249, 2000.

SILVA, A. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; AVANZI, J. C.; FERREIRA, M. M. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1811-1820, dez. 2009.

SILVA, F. G. B.; MINOTTI, R. T.; LOMBARDI NETO, F.; PRIMAVESI, O.; CRESTANA, S. Previsão da perda de solo na Fazenda Cachim – SP (Embrapa) utilizando o geoprocessamento e o USLE 2D. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, jun. 2010.

SILVA, R. L.; DE MARIA, I. C. Erosão em sistema plantio direto: influência do comprimento de rampa e da direção de semeadura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 6, p. 554-561, jun. 2011.

SILVA, V. A.; MOREAU, M. S.; MOREAU, A. M. S. S.; REGO, N. A. C. Uso da terra e perda de solo na Bacia Hidrográfica do Rio Colônia, Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 3, p. 310-315, mar. 2011.

SOUSA, G. B.; MARTINS FILHO, M. V.; MATIAS, S. S. R. Perdas de solo, matéria orgânica e nutrientes por erosão hídrica em uma vertente coberta com diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar em Guariba - SP. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v. 32, n. 3, p. 490-500, 2012.

SPOHR, R. B.; CARLESSO, R.; GALLÁRRETA, C. G.; PRÉCHAC, F. G., e PETILLO, M. G. Modelagem do escoamento superficial a partir das características físicas de alguns solos do Uruguai. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 74-81, fev. 2009.

TIECHER, T.; MINELLA, J. P. G.; MIGUEL, P.; ALVAREZ, J. W. R.; PELLEGRINI, A.; CAPOANE, V.; CIOTTI, L. H.; SCHAEFER, G. L.; SANTOS, D. R. D. Contribuição das fontes de sedimentos em uma bacia hidrográfica agrícola sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 639-649, 2014.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, v.59, n.4, p.795- 801, 2002.

TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1023-1031, dez. 2004.

TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; FIDALSKI, J.; COSTA, J. M.; Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um latossolo vermelho distroférrico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 211-219, abr. 2007.

TUCCI, C. E. M. Escoamento superficial. In: TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH. p. 391-441, 2001.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2011. Disponível em: <<<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdQuery.aspx>>>. Acesso em: 22 set 2015.

VALICHESKI, R. R.; GROSSKLAUS, F.; STÜRMER, S. L. K.; TRAMONTIN, A. L.; BAADE, E. S. A. S. Desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 9, p. 969-977, 2012.

VALICHESKI, R. R.; BRANDELEIRO, S. M.; MIQUELUTTI, D. J.; K.STÜRMER, S. L.; TRAMONTI, A. L.; FRANZÃO, M. C. Absorption of primary macronutrients and soybean growth at different compactation densities and moisture levels in a silt loam soil. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n. 2, p. 223-231, abr. 2016.

VALLE JÚNIOR, R. F.; GALBIATTI, J. A.; MARTINS FILHO, M. V.; PISSARRA, T. C. T. Potencial de erosão da bacia do Rio Uberaba. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 5, p. 897-908, out. 2010.

VANNI, S. M. **Modelos de regressão: estatística aplicada**. São Paulo: Legmar Informática & Editora, 177 p., 1998.

VERITY, G. E.; ANDERSON, D. W. Soil erosion effects on soil quality na yield. **Canadian Journal Soil Sct**, Ottawa, v.70, p.471-84, 1990.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 743-755, 2009.

VOMOCIL, J. A. Porosity. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and ampling.** Madison: American Society of Agronomy, p.1, p.499-510, 1965.

WALTRICK, P. C.; MACHADO, M. A. M.; DIECKOW, J.; OLIVEIRA, D. Estimativa da Erosividade de Chuvas no Estado Do Paraná pelo Método da Pluviometria: Atualização com dados de 1986 A 2008. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 1, p. 256-267, fev. 2015.

WANG, X.; ZHAO, X.; ZHANG, Z.; YI, L.; ZUO, L.; WEN, Q.; LIU, F.; XU, J.; HU, S.; LIU, B. Assessment of soil erosion change and its relationships with land use/cover change in China from the end of the 1980s to 2010. **Catena**, v. 137, p. 256-268, 2016.

WEBSTER, R. Statistics to support soil research and their presentation. **European Journal of Soil Science**, v. 52, n. 2, p. 331-340, 2001.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning.** Washington: USDA, 58p, 1978.

ZONTA, J. H.; MARTINEZ, M. A.; PRUSK, I. F. F.; SILVA, D. D.; SANTOS, M. R. Efeito da aplicação sucessiva de precipitações pluviais com diferentes perfis na taxa de infiltração de água no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 377-388, abr. 2012.

Anexo 1

Tabela 7 - Análise de variância para a perda de água

FV	GL	SQ	QM	Fcal	Pr>Fc
DEC	3	187942,08	62647,36	0,073	0,9751
Erro	112	96428742,18	860970,91		
Total corrigido	115	96616684,26			

CV (%) = 75,28	DMS: 635,67
Média geral: 1232,53	Número de observações: 116

Tabela 8 - Análise de variância para a perda de solo

FV	GL	SQ	QM	Fcal	Pr>Fc
DEC	3	0,000120	0,000040	2,455	0,0668
Erro	112	0,001818	0,000016		
Total corrigido	115	0,001938			

CV (%) = 133,37	DMS: 0,00276034
Média geral: 0,0030212	Número de observações: 116